

Л. И. Оборина, Б. Н. Исмаилов, И. В. Стерехов, И. В. Трифанов

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ВОЛНОВОДОВ КВЧ-ДИАПАЗОНА<sup>1</sup>

*Представлены конструктивно-технологические решения электролитического формообразования многоканальных волноводов КВЧ-диапазона.*

*Ключевые слова: многоканальный волновод, модель, электролитическое формообразование, КВЧ-диапазон.*

При изготовлении антенно-фидерных устройств СВЧ, КВЧ-диапазонов систем спутниковой связи широко применяются многоканальные волноводы типа «корпус», «разветвитель», «мост кольцевой», «делители мощности» и др., имеющие ступенчатые геометрические параметры канала переменного сечения или пересекающиеся каналы сечением  $3,6 \times 1,8$  мм.

Изготовление таких волноводов может вызывать определенные технологические трудности из-за сложности конфигурации каналов, высокой точности размеров ( $0,015$  мм), низкой шероховатости поверхности ( $R_a \leq 0,2$  мкм). Наиболее перспективным является метод послойного электролитического формообразования с применением выплавляемых диэлектрических моделей [1; 2].

Диэлектрические смеси, применяемые для изготовления моделей, должны обладать низким температурным коэффициентом линейного расширения, малой линейной усадкой (не более  $0,6$ – $0,7$  %). Температура плавления должна быть в пределах  $60$ – $100$  °С, температура начала размягчения не ниже  $32$ – $35$  °С [3].

Состав диэлектрической модельной смеси должен иметь минимальное число компонентов, желательно недорогих и недефицитных, обладать хорошей жидкотекучестью в расплавленном состоянии для облегчения заливки в пресс-форму при давлении  $6$ – $10$  МПа. Состав диэлектрической модельной смеси должен точно воспроизводить конфигурацию рабочей полости пресс-формы и ее поверхности, полученных на основе математического моделирования волноводов, отличаться низкой адгезией к поверхности пресс-формы, что позволит удалять модели из пресс-форм после литья.

Продолжительность процесса затвердевания должна быть минимальной после заливки в пресс-форму и составлять  $20$ – $30$  с.

Модельный состав диэлектрической смеси должен хорошо срачиваться при сборке элементов модели при изготовлении волноводов сложной конфигурации, иметь механически однородную структуру, быть пригодным для многократного повторного использования [2]. Точность размеров и шероховатость поверхности выплавляемых диэлектрических моделей определяется, в основном, точностью и качеством формообразующей поверхности пресс-форм. Она должна иметь шероховатость  $R_a$   $0,1$ – $0,16$  мкм, точность размеров формообразующей полости  $0,005$ – $0,015$  мм. Пресс-форма должна быть спроектирована и изготовлена с учетом усадки литейной массы. Конструкция должна обеспечивать свободную сбор-

ку пресс-формы, удаление из нее воздуха при заливке модельной массы, а также легкое извлечение затвердевшей модели. Пресс-форма должна иметь минимальный вес, быть долговечной и удобной в работе, например, пресс-форма для изготовления модели волновода «корпус» состоит из разъемной матрицы, верхней крышки, корпуса, нижней опорной плиты, нижней крышки, быстроразборного крепления (рис. 1).

В корпусе пресс-формы необходимо выполнить отверстие  $d_{\text{отв}} = 1$  мм со сферическим гнездом для заливки диэлектрической модельной массы. Радиус входной кромки должен быть  $0,25 d_{\text{отв}}$ , что обеспечивает получение струи максимального сечения при заливке модельной массы. Пресс-форма может быть изготовлена из стали  $40 \times 13$  с твердостью рабочей поверхности HRC  $45$ – $50$ , точностью  $0,015$  мм, шероховатостью  $R_a$   $0,12$  мкм.

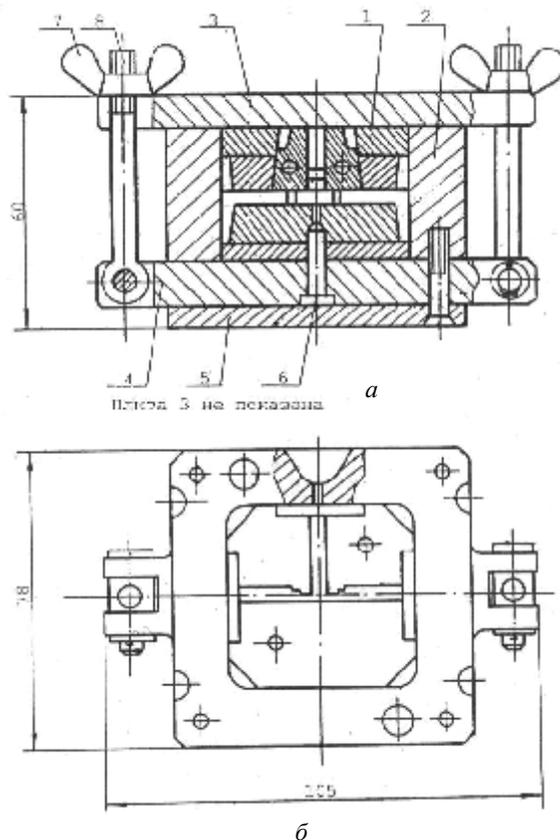


Рис. 1. Пресс-форма для литья модели волновода «корпус»:

- 1 – матрица; 2 – корпус пресс-формы; 3 – плита;  
4 – основание корпуса; 5 – крышка; 6 – штифт; 7 – гайка;  
8 – винт; а – вид сбоку; б – вид сверху

<sup>1</sup> Работа выполнена по гранту РНП 3172/11-09.

Для изготовления моделей волноводов со стабильными геометрическими характеристиками и физико-химическими параметрами необходимо было выбрать состав диэлектрической смеси, режимы прессования, обеспечивающие заданные требования. В связи с этим были проведены исследования по определению зависимости шероховатости  $R$  поверхности моделей от температуры нагрева модельной смеси и давления во время заливки, а также от исходной температуры пресс-формы:

$$R_a = f(T, P, t_n), \quad (1)$$

где  $T$  – температура заливаемой смеси;  $P$  – давление заливки;  $t_n$  – температура поверхности пресс-формы.

Зависимость вязкости модельного состава от температуры показана на рис. 2. Модельный состав № 1 отличается более высокой вязкостью, чем модельный состав № 2, однако характер распределения вязкости от температуры у обоих составов одинаков и описывается выражениями, приведенными ниже.

На качество диэлектрических моделей оказывает вязкость модельного состава при заливке: чем меньше вязкость, тем точнее модель повторяет геометрические параметры пресс-формы. Это обеспечивает более высокое качество изготовления волновода электролитическим формообразованием.

Изменение вязкости от температуры нагрева модельного состава может быть описано следующими зависимостями:

– для модельного состава № 1:

$$\gamma_1 = 1\,096,38 \cdot 0,98^T; \quad (2)$$

– для модельного состава № 2:

$$\gamma_2 = 3\,767,11 \cdot 0,95^T; \quad (3)$$

где  $T$  – температура нагрева модельной смеси при заливке в пресс-форму.

Зависимость шероховатости поверхности диэлектрических моделей от температуры пресс-формы показана на рис. 3. Установлено, что с повышением температуры пресс-формы от 20 до 50 °С шероховатость поверхности диэлектрических моделей снижается для модельного состава № 1 с  $R_a$  0,32 мкм до  $R_a$  0,25 мкм, а для модельного состава № 2 с  $R_a$  0,28 мкм до  $R_a$  0,18 мкм.

Шероховатость изготовленных моделей определялась оптическим методом путем замера интенсивности падающих и отраженных инфракрасных лучей от поверхности исследуемого образца. При этом ограничивались определением среднего значения интенсивности инфракрасных лучей  $I(x, y)$ , ее дисперсии  $\sigma^2 = I^2(x, y) - I(x, y)^2$  и контраста пятнистой структуры. Шероховатость контролируемой поверхности определяли по средней величине интенсивности лучей, отраженных от нее с фильтрацией электрического сигнала через RC-фильтр, который затем поступал на усилитель и регистрирующий прибор. Это позволило исключить влияние помех. Лучи подавались от генератора импульсов, предназначенного для включения светодиодов с частотой  $f = 500$  Гц – 50 КГц, что позволило повысить разрешающую способность данного метода контроля в зависимости от изменения параметров микронеровностей контролируемой поверхности.

В результате проведенных исследований было получено выражение, описывающее  $R_a$  диэлектрической модели при

$P = 7$  МПа в зависимости от изменения температуры заливочной модельной смеси и температуры пресс-формы:

$$R_a = (0,055\chi + 0,61)0,98^m, \quad (4)$$

где  $\chi = \frac{dT(\tau)}{d\tau}$  – изменение температуры заливочной модельной смеси;  $\tau$  – время, в течение которого происходит процесс изменения температуры модельной смеси;  $t_n$  – температура пресс-формы.

На основании проведенных исследований было установлено, что модельный состав № 2 является более предпочтительным по сравнению с модельным составом № 1, так как он способен обеспечить более низкую шероховатость поверхности изготовленной модели (рис. 3).

Колебания усадки диэлектрической модели волновода определяли по формуле

$$K_y = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{l_n}, \quad (5)$$

где  $l_{\max}$  – максимальная длина модели;  $l_{\min}$  – минимальная длина модели;  $l_n$  – длина рабочей полости пресс-формы, куда запрессовывается модельная масса.

Сходимость зависимостей (2)–(5) с экспериментальными данными составляла 95–97%.

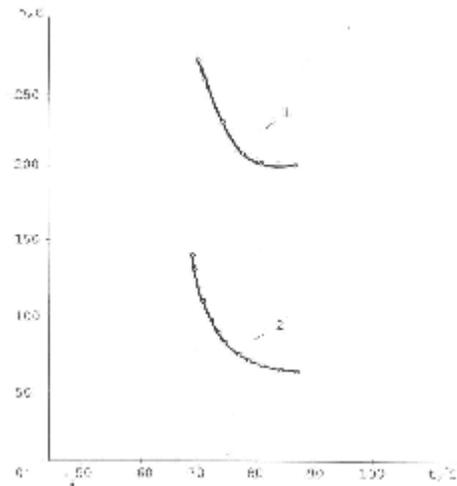


Рис. 2. Зависимость вязкости модельного состава от температуры: 1 – модельный состав № 1; 2 – модельный состав № 2

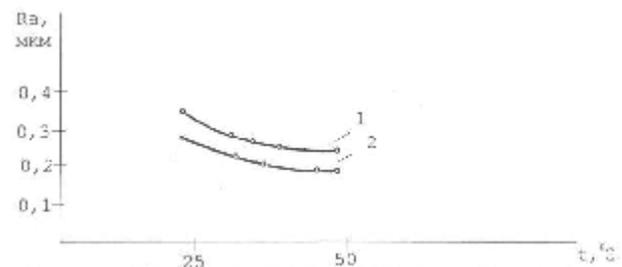


Рис. 3. Зависимость шероховатости диэлектрических моделей от температуры поверхности пресс-формы: 1 – модельный состав № 1; 2 – модельный состав № 2

Из выбранной на основе проведенных исследований циклограммы режима заливки модельной массы в пресс-форму (рис. 4) видно, что уменьшение вязкости модельного состава № 2 до 60 с позволяет уменьшить время заливки модельной смеси в пресс-форму и повысить ка-

чество диэлектрической модели волновода по шероховатости поверхности и точности.

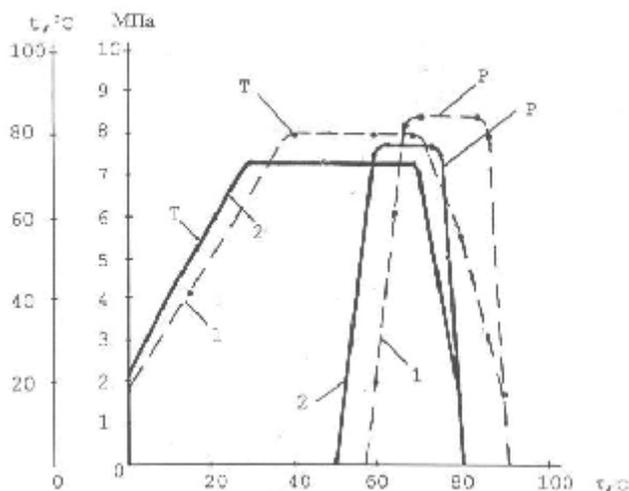


Рис. 4. Циклограмма режима заливки модельной смеси в пресс-форму: 1 – параметры для смеси № 1; 2 – параметры для смеси № 2

На рис. 5 и 6 представлен чертеж и внешний вид опытного образца волновода «корпус», изготовленного методом послойного электролитического формообразования с применением выплавляемых диэлектрических моделей. Волновод «корпус» имеет четыре канала сечением 3,6×1,8 мм и регулировочный винт 3 (рис. 5).

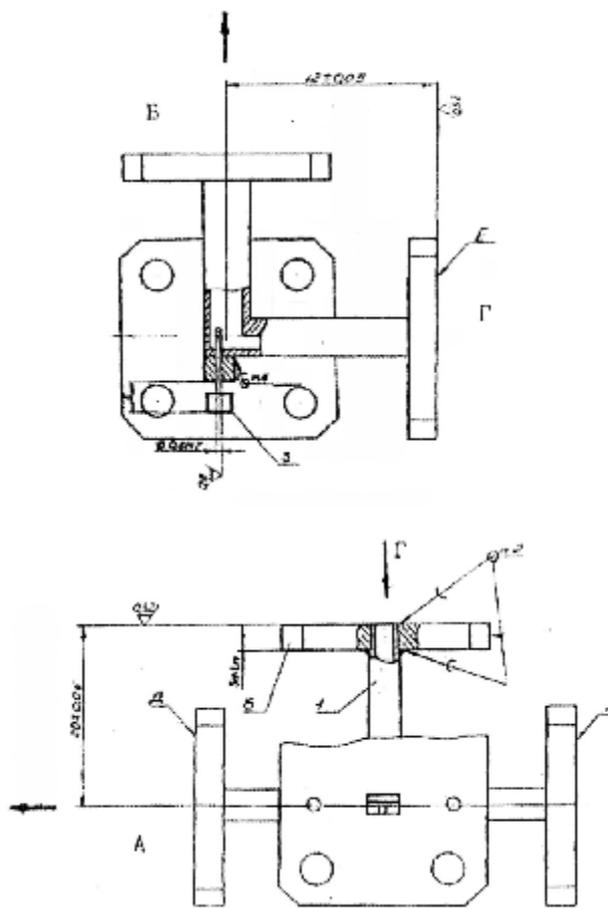


Рис. 5. Волновод «корпус» с пересекающимися каналами: 1 – канал; 2 – фланец; 3 – рабочий винт

В результате выполненных замеров на десяти образцах моделей установлено, что усадка для модельного состава № 2 находилась в пределах 0,62–0,7 %, что согласуется и исходными значениями для данной модельной массы и обеспечивает более высокую точность волновода «корпус».

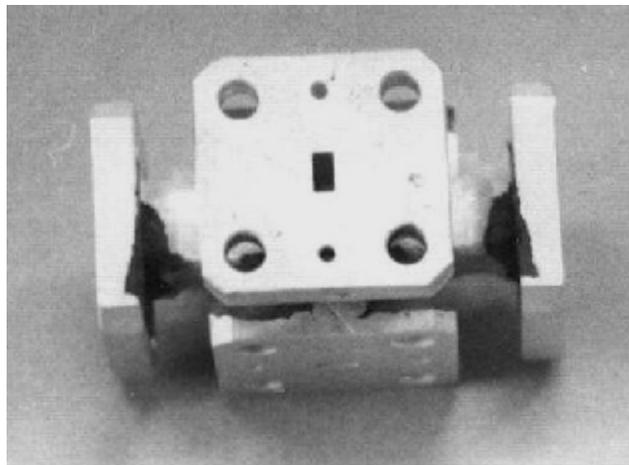


Рис. 6. Опытный образец волновода «корпус»

Изготовленные диэлектрические модели были использованы для исследования технологического процесса производства многоканальных волноводов методом электролитического формообразования. Было установлено, что технология электролитического формообразования позволяет изготавливать волноводы практически любой конфигурации, в том числе с заранее интегрированными элементами, например, винтом 3 (рис. 5).

После изготовления модели волновода в процессе электролитического формообразования многоканальных волноводов необходимо выполнить несколько последовательных операций: провести химическую подготовку поверхности модели перед металлизацией, осуществить первичную металлизацию в виде химического осаждения токопроводящего покрытия требуемого химического состава и структуры, формирующих токопроводящий скин-слой канала волновода. Затем необходимо провести вторичную металлизацию электрохимическим способом для формирования переходного слоя требуемой величины, обеспечивающего механическую жесткость конструкции.

Качество металлических покрытий в значительной степени зависит от подготовки поверхности перед металлизацией, т. е. от таких операций, как обезжиривание, травление, сенсбилизация и активирование. Поверхность модели волновода «корпус» подвергалась обезжириванию под металлизацию. С целью получения удовлетворительной смачиваемости поверхностей моделей были опробованы различные способы обезжиривания. Выбор растворов для обезжиривания зависит от свойств материала моделей. Они не должны взаимодействовать с материалом модели.

Положительные результаты были получены при обезжиривании 10%-ной суспензией венской извести с последующим обезвоживанием этиловым спиртом. Лучшие результаты были получены при непрерывном процессе – отливке модели, а затем ее обезжиривании. Затем производилась сенсбилизация и активирование в течение

2–5 мин. Обе стадии способствовали образованию на поверхности модели тончайшего слоя благородного металла, который является катализатором дальнейшей реакции восстановления ионов металла. Использовались сенсibiliзирующие растворы на основе двухвалентного олова, а в качестве активирующего использовались растворы хлористых солей палладия и серебра.

Химическая металлизация подразумевает образование тонкого слоя металла (0,1–0,3 мкм) химическим способом, обеспечивающим электропроводность поверхностей диэлектрических моделей, необходимую для дальнейшего электролитического наращивания металла. В результате выполненных исследований был выбран раствор для химического меднения на основе серно-кислой меди, никеля двухлористого и других химических компонентов. Время выдержки при химическом меднении составляло 10–20 мин.

С целью получения требуемых параметров электропроводящего слоя волноводов КВЧ-диапазона, химическая металлизация проводилась путем осаждения серебра на поверхности выплавляемой модели. Наиболее эффективным явился раствор на основе серебра азотно-кислого.

После химической металлизации проводилось изготовление волноводов методом электролитического формообразования в растворе серно-кислого меднения. В процессе наращивания контролировались размеры толщины стенок волноводов и качество медного осадка.

После изготовления волноводов электролитическим формообразованием их фланцы подвергались механической обработке.

По окончании гальванического наращивания производилось выплавление диэлектрической модели, промывка каналов волновода и нанесение токопроводящего серебряного покрытия толщиной 3–5 мкм.

Таким образом, были разработаны конструкторско-технологические решения по изготовлению многоканальных волноводов КВЧ-диапазона методом послойного электролитического формообразования на выполняемые диэлектрические модели, исследованы технологические возможности разработанных составов диэлектрических моделей, а также методы изготовления многоканальных волноводов с требуемыми геометрическими параметрами и радиофизическими характеристиками.

Был выбран рациональный состав материала моделей (состав № 2), технологические режимы их изготовления, разработана методика изготовления многоканальных волноводов КВЧ-диапазона.

#### Библиографические ссылки

1. Гадасик В. А. Оборудование для изготовления деталей методом гальванопластики и гальваноштамповки // Радиопромышленность. 1991. № 2. С. 64–65.
2. Китнер И. П. Литьевая полимерная композиция для изготовления деталей СВЧ-устройств // Радиопромышленность. 1991. № 2. С. 58–59.
3. Трифанов И. В., Евтушенко, Е. И. Технологическое обеспечение качества при изготовлении линий передачи энергии антенно-фидерных устройств ; КрасГАУ. Красноярск, 2006. С. 24.

L. I. Oborina, B. N. Ismaylov, I. V. Sterehov, I. V. Trifanov

### TECHNOLOGICAL MAINTENANCE OF QUALITY IN MANUFACTURE OF MULTICHANNEL WAVE GUIDES OF EHF-RANGE

*Structurally-technological decisions of electrolytic shaping of multichannel wave guides of EHF-range are given in the article.*

*Keywords: a multichannel wave guide, model, electrolytic shaping, EHF-range.*

© Оборина Л. И., Исмаылов Б. Н., Стерехов И. В., Трифанов И. В., 2010