

УДК 678+67.02+67.03+62-03

***МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ СКЛЕИВАЮЩЕЙ ПРОКЛАДКИ,  
ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ  
ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ***

***Бороздина Е.А.***

*Студент 4 курса, Аэрокосмического факультет,*

*Кафедра “Механика композиционных материалов и конструкций”,*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,*

*Пермь, Россия*

**Аннотация:** методы испытания склеивающей прокладки, используемой для изготовления многослойных печатных плат. В ходе исследования были рассмотрены разные марки препрегов, используемых в качестве склеивающей прокладки и основы для печатных плат, описаны методы испытания препрегов и рассчитаны: содержание смолы, летучих веществ. В результате были проведены испытания на определение содержания смолы и летучих веществ препрегов марок: VT-47PP 1080, ЭМ-5-1080-63, ЭМ-4-1080-63. Рассмотрены характеристики данных марок склеивающих прокладок, выявлены особенности технологического процесса испытаний. Из перечисленных марок препрегов была определена наиболее подходящая для использования в качестве склеивающей прокладки. С помощью препрегов производят печатные платы, которые активно используются как в авиационной и аэрокосмической технике, так и в окружающих нас электрических приборах.

**Ключевые слова:** многослойные печатные платы, склеивающие прокладки, стеклопластик, препреги, методы испытания препрегов, определение содержания смолы и летучих веществ.

***METHODS OF TESTING THE ADHESIVE GASKET USED FOR THE  
MANUFACTURE OF MULTILAYER PRINTED CIRCUIT BOARDS***

***Borozdina E.A.***

*4th year student, Aerospace Faculty,*

*Department of “Mechanics of Composite Materials and Structures”,*

*Perm National Research Polytechnic University,*

*Perm, Russia*

**Abstract:** methods of testing the bonding gasket used for the manufacture of multilayer printed circuit boards. In the course of the study, different brands of prepregs used as gluing pads and bases for printed circuit boards were considered, methods of testing prepregs were described and calculated: the content of resin, volatile substances. As a result, tests were carried out to determine the content of resin and volatile substances of prepregs of the following brands: VT-47PP 1080, EM-5-1080-63 , UM-4-1080-63 . The characteristics of these brands of gluing gaskets are considered, the features of the technological process of testing are revealed. Of the listed prepreg brands, the most suitable one for use as a gluing gasket was determined. With the help of prepregs, printed circuit boards are produced, which are actively used both in aviation and aerospace technology, and in the electrical devices around us.

**Keywords:** multilayer printed circuit boards, gluing gaskets, fiberglass, prepregs, prepreg testing methods, determination of the content of resin and volatile substances.

**Введение**

Важным аспектом в производстве авиационной и аэрокосмической техники являются системы управления и электроника, главным элементом которых являются печатные платы. Они установлены в компьютерах, радиолокационных установках, источниках питания, контрольно-измерительных приборах и т.д. Печатные платы широко применяются во многих

приборах, как и связанных с авиационной и аэрокосмической промышленностью, так и окружающие нас каждый день.

Печатная плата представляет из себя изделие из плоского изоляционного основания с отверстиями, пазами, вырезами и системой токопроводящих полосок металла (обычно используют медь), которое используют для установки и коммутации электрорадиоизделия (ЭРИ) и функциональных узлов [7].

Токопроводящий метал представляет из себя фольгу, она используется как отдельными листами для покрытия диэлектрика, так и сразу спрессованной с диэлектриком (кор). В качестве диэлектрика применяют стеклопластик, а в многослойных платах для соединения токопроводящих слоев используют препрег стеклопластика, который называют склеивающей прокладкой [2].

Кором (ядром, основаниием) называют заполимеризованный слой или несколько слоев препрега, который покрыт фольгой. На нем обычно реализуют все внутренние слои платы [7].

Для проверки качества печатных плат проводят множество испытаний. Проверяется, как и проходимость тока в готовой плате, так и характеристики всех используемых материалов на разных этапах. Самые первые проверяются препреги, так как от них зависит прочность и качество создаваемой печатной платы.

В данной работе будут рассмотрены методы испытаний и характеристика препрегов с типом стеклоткани 1080, которые используются для прессования внешних слоев с контролем импеданса (комплексное сопротивление между двумя узлами цепи или двухполюсника для гармонического сигнала).

### **Цель и задачи исследования**

Необходимо рассмотреть препреги марок: VT-47PP 1080, ЭМ-5-1080-63, ЭМ-4-1080-63, провести расчет на содержание смолы и летучих веществ. Выявить отличия препрегов данных марок и особенности ТУ испытаний. Определить какая из перечисленных марок препрегов будет наиболее подходящий для использования в качестве склеивающей прокладки.

## Основная часть

Существует много разновидностей печатных плат, но при их создании используются полимерные композиционные материалы. Наиболее распространены препреги стеклопластиков, которые служат склеивающей прокладкой.

Использование стеклопластика обусловлено тем, что он является жестким диэлектриком, который сохраняет свои высокие электроизоляционные и механические свойства в разных температурных условиях и условиях повышенной влажности.

Данные препреги представляют из себя пропитанную ткань из стеклянных волокон, благодаря которой сокращается количество технологических операций при изготовлении изделий, так как при изготовлении печатных плат не нужно дополнительно изготавливать обшивку, наносить клеевой слой и тд.[4].

Основные разновидности плат:

- Односторонние – самый простой вид платы, которая содержит фольгированный слой только на одной стороне.
- Двусторонние – чуть более сложный вид, фольгированный слой находится с двух сторон.
- Многослойные – самый сложный вид, состоят из двух и более слоев, каждый из которых имеет фольгированное покрытие [3].

Основание печатной платы покрывается тонким слоем медной фольги, высверливаются необходимые отверстия, лишнюю медь стравливают, чтобы остались трассы и контактные площадки, которые нужны для соединения компонентов [5]. Затем проводят металлизацию отверстий. Если плата многослойная, то на этом этапе проводят прессование слоев. Наносят необходимые защитные покрытия. Конечным этапом проводят механическую обработку.

При изготовлении печатных плат, в качестве основ и склеивающей прокладки используют препреги с разной плотностью нитей в стеклоткани. [2]

Чем меньше плотность плетения, тем больше содержание смолы в препреге, что значительно упрощает заполнение вытравленной меди. Однако бывает такое, что при трассировке диффпар одна линия идёт поверх стекловолокна, а другая — поверх зазора плетения [2].

Методы испытаний склеивающей прокладки, для контроля, необходимых заказчику, характеристик, можно найти в ГОСТ 26246.14-91. Там представлены разные виды испытаний, благодаря которым можно определить:

- Содержание смолы
- Содержание летучих веществ
- Текучесть смолы
- Время гелеобразования
- Толщину склеивающей прокладки

В рамках данной работы проводились первые два испытания, а именно находилось: содержание смолы и летучих веществ.

До начала испытания на определение *содержания смолы* необходимо подготовить три образца, для этого они вырезают из препрега согласно инструкции.

Три квадратных образца со стороной ( $100 \pm 10$ ) мм вырезают из листа вдоль линии, перпендикулярной основе ткани так, чтобы их диагонали были параллельны нитям основы и утка. Один образец вырезают из участка, равноудаленного от краев, а два других с противоположных краев, но не ближе ( $50 \pm 25$ ) мм от края или кромок [1]. Затем с образцов удаляют выступающие нити.

Следующим этапом является 15 минутный нагрев специальных тиглей в муфельной печи до температуры ( $550 \pm 20$ )°С. Затем тигли остужают в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают с точностью до 1 мг (M1). Далее образцы кладут в тигели, взвешивают (M2) и нагревают в течение 1 часа в

муфельной печи при температуре 550°C, остужают в эксикаторе до комнатной температуры и снова взвешивают, с точностью до 1 мг. Нагрев, охлаждение и взвешивание проводят до тех пор, пока разница между двумя последовательными взвешиваниями не будет равна 2 мг (M3) [5].

Для определения содержания смолы используют формулу (1):

$$\frac{100(M2 - M3)}{M2 - M1} - \text{содержание летучих веществ\%} \quad (1)$$

Для определения содержания летучих веществ необходимо предварительно вырезать 3 образца, аналогично, как для предыдущего испытания. Далее нужно проштамповать небольшое отверстие у любого угла образца.

Три образца взвешивают вместе с точностью до 1 мг (M1), подвешивают на специальные крюки за проштампованные отверстия и нагревают в камере с циркулирующим воздухом (сушильной камере) при температуре (163±3) °C в течение 15 мин ÷ 15 сек. Далее охлаждают в эксикаторах до комнатной температуры и взвешивают с точностью до 1 мг (M2) [1].

Содержание летучих веществ определяют по формуле (2):

$$\frac{100(M1 - M2)}{M1} \quad (2)$$

Далее в зависимости от марки препрега могут изменяться параметры испытания в зависимости от надлежащего ТУ.

Первым рассмотрим *препрег VT-47 PP тип 1080 RC64% VENTEC*, изображенный на рис. 1 имеет светло желтый цвет, непрозрачную глянцевую поверхность, легко изгибается, предназначен для применения совместно с фольгированными материалами при производстве многослойных печатных плат (МПП) специального и двойного применения.



Рис. 1 – Препрег VT-47 PP 1080

Авторская разработка

Состоит из стеклоткани, пропитанной эпоксидным связующим. Стеклоткань соткана из крученых непрерывных нитей, изготовленных из стекла электротехнического назначения, и обработана аппретом совместимым с эпоксидным связующим.

Характеристики препрега VT-47 PP 1080 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики препрега VT-47 PP 1080

Характеристика	Значение
Температура стеклования препрега	180°C
Предельная допустимая рабочая температура	от -60°C до +130°C
Номинальная толщина стеклоткани (без смолы)	0,053мм
Расчетная (теоретическая) толщина препрега	0,061±0,013 мм/слой
Содержание смолы	64±3%
Время гелеобразования	72±25 сек

Вязкость расплава	0,2-2,0П
Толщина после прессования	0,074мм

В испытание данного препрега входит расчет на содержание смолы.

Для начала испытания необходимо вырезать 4 образца согласно ГОСТ 26246.14-91.

Затем, предварительно выдержанные, не менее 4 часов в эксикаторе при температуре 23°C и относительной влажности менее 30%, образцы взвешивают с точностью 0,001г (M2). Для этого на чашу весов помещают статический экран, обнуляют, и все образцы стопкой помещают на чашу весов. Исходя из полученного веса образцов препрега общей площадью 41,29мм<sup>2</sup> и веса стеклоткани M1 можно найти общее содержание смолы, которое вычисляется по формуле (3):

$$\left(1 - \frac{M1}{M2}\right) \times 100, \quad (3)$$

где M1=0,47 - вес на единицу площади;

M2- вес четырех образцов.

Проведем расчет:

$$\left(1 - \frac{0,47 \times 4}{5,2562}\right) \times 100 = 64,23\% - \text{входит в норму}$$

Норма содержание смолы 64±3%.



Вторым рассмотрим *препрег ЭМ-5-1080-63*. Он используется в качестве склеивающей прокладки при изготовлении многослойных печатных плат и фольгированных диэлектриков. При изготовлении препрега ЭМ-5 используются терморезистивное связующее на основе модифицированных эпоксидных смол нормированной горючести класса 0 по ГОСТ 26246.0 и электроизоляционной стеклоткани.

Препрег ЭМ-5-1080-63, изображенный на рис. 2, имеет желтый оттенок, шероховатую поверхность, непрозрачный, немного плотный, легко изгибается.



Рис. 2 – Препрег ЭМ-5-1080-63

Авторская разработка

Характеристики препрега ЭМ-5-1080-63 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики препрега ЭМ-5-1080-63

Характеристика	Значение
Температура стеклования препрега, не менее	170°C
Предельная допустимая рабочая температура	от -60°C до +155°C
Номинальная толщина стеклоткани (без смолы)	(0,055÷0,064)±0.005 мм

Содержание смолы	63±3%
Текучесть смолы	34±5%
Время гелеобразования при T=170°C	100±30 сек
Содержание летучих веществ, не более	0,75%
Номинальная масса стеклоткани	44÷49,5 г/см <sup>2</sup>

В испытание данного препрега входит расчет на содержание летучих веществ и расчет на содержание смолы согласно ГОСТ 26246.14-91.

Для того чтобы подготовить образцы, необходимо вырезать по три образца на каждое испытание и проштамповать небольшое отверстие у трех образцов с любого угла.

Взвешиваем, затем продеваем в ранее подготовленные отверстия специальные крюки и помещаем в сушильной камере так, чтобы преперг не соприкасался друг с другом при нагреве. Нагреваем и выдерживаем при температуре (163±3) °C в течение 15 мин ÷ 15 сек [1].

Далее после нагревания образцы помещаются в эксикаторы для охлаждения до комнатной температуры. После охлаждения, образцы взвешивают вместе.

Полученные данные обрабатываются, подставляя их в формулу (2):

$$\frac{100(M1 - M2)}{M1} = \frac{100(4,1818 - 4,1661)}{4,1818} = 0,37\% - \text{входит в норму,}$$

где M1=4,1818 г - вес до испытания,

M2=4,1661 г - вес после охлаждения образцов.

Норма не более 0,75%.

Для расчета содержания смолы в препреге будут нужны тигли, которые необходимо предварительно нагреть в муфельной печи на 15 минут при температуре  $(550 \pm 20)$  °С и остудить в эксикаторе до комнатной температуры.

При взвешивании пустых прокалённых тиглей получаем результат М1: 48,3447; 52,1911; 55,6559.

Далее подготовленные образцы препрега кладут в тигли и взвешивают, получая значения М2: 49,7396; 53,5941; 57,0516.

Затем тигли с навеской помещают в муфельную печь и выдерживают 1 час при температуре 550°С, остужают в эксикаторе до комнатной температуры. Нагрев и охлаждение проводят пока разница между двумя последовательными взвешиваниями не будет равна 2мг. Обычно для этого хватает 3 повтора операций.

После того как достали образцы препрега из муфельной печи и остудили несколько раз необходимо тщательно смести белый порошок жесткой кистью с каждого образца. Белый порошок появляется в результате выгорания смолы из стеклоткани и называется зольным остатком связующего.

Далее кладем образцы обратно в соответствующие тигли и взвешиваем, получая значения М3: 48,8824; 52,7331; 56,2032.

Содержание смолы рассчитывается по формуле (1):

$$\frac{100(M2 - M3)}{M2 - M1} - \text{содержание летучих веществ} \% .$$

Подставляя полученные ранее данные получим следующие выражения:

$$\frac{100(49,7396 - 48,8824)}{49,7396 - 48,3447} - 0,37 = 61,1 \%$$

$$\frac{100(53,5941 - 52,7331)}{53,5941 - 52,1911} - 0,37 = 61,0 \%$$

$$\frac{100(57,0516 - 56,2022)}{57,0516 - 55,6559} - 0,37 = 60,5 \%$$

Среднее полученное значение 60,9%, при норме  $63 \pm 3\%$ .

На рис. 3 можно рассмотреть, как выглядит препрег ЭМ-5-1080-63 после испытаний.



Рис. 3 – Препрег ЭМ-5-1080-63 после испытаний

Авторская разработка

После муфельной печи образец препрега ЭМ-5 белый матовый и мягкий.

Третьим рассмотрим *препрег ЭМ-4-1080-63* используется в качестве склеивающей прокладки при изготовлении многослойных печатных плат и фольгированных диэлектриков. При изготовлении препрега ЭМ-4 используются терморезистивное связующее на основе модифицированных эпоксидных смол нормированной горючести класса 0 по ГОСТ 26246.0 и электроизоляционной стеклоткани.

Препрег ЭМ-4-1080-63, изображенный на рис. 4, имеет зеленый оттенок, прозрачный, имеет гладкую поверхность, плотный, изгибается.

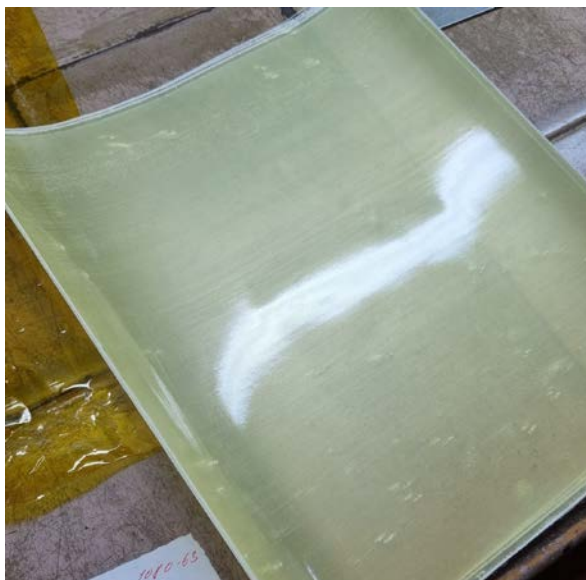


Рис. 4 – Препрег ЭМ-4-1080-63

Авторская разработка

Характеристики препрега ЭМ-4-1080-63 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики препрега ЭМ-4-1080-63

Характеристика	Значение
Температура стеклования препрега, не менее	130°C
Предельная допустимая рабочая температура	от -60°C до +120°C
Номинальная толщина стеклоткани (без смолы)	(0,055÷0,064)±0.005 мм
Содержание смолы	63±3%
Текучесть смолы	34±5%
Время гелеобразования при T=170°C	100±30 сек
Содержание летучих веществ, не более	0,75%
Номинальная масса стеклоткани	44÷49,5 г/см <sup>2</sup>

В испытание данного препрега, как и для ЭМ-5, входит расчет на содержание летучих веществ и расчет на содержание смолы.

Проведения испытания на расчет летучих веществ проводится точно так же, как и для препрега ЭМ-5. Образцы взвешивают, выдерживают в сушильной камере, остужают и взвешивают вновь.

Производя расчет получим:

$$\frac{100(M1 - M2)}{M1} = \frac{100(4,1959 - 4,1740)}{4,1959} = 0,52\% - \text{входит в норму,}$$

где M1=4,1959 г - вес до испытания,

M2=4,1740 г - вес после охлаждения образцов.

Норма не более 0,75%.

При проведении испытания для расчета содержания смолы в препреге ЭМ-4 основные действия повторяются как в случае с ЭМ-5. Взвешиваются прокаленные тигли, тигли с навеской, нагрев тиглей с препрегов в муфельной печи с последующем охлаждением несколько раз (около 3 раз). Но далее, не нужно выметать и стряхивать пыль с препрега, так как она там не образуется. Затем тигли сразу же взвешиваются, после извлечения из эксикаторов.

Проведем расчет исходя из полученных данных:

$$\frac{100(M2 - M3)}{M2 - M1} - \text{содержание летучих веществ\%,}$$

$$\frac{100(55,6245 - 54,7340)}{55,6245 - 54,2307} - 0,52 = 63,37 \%,$$

$$\frac{100(56,9723 - 56,0834)}{56,9723 - 55,5806} - 0,52 = 63,35 \%,$$

$$\frac{100(55,4297 - 54,5350)}{55,4297 - 54,0336} - 0,52 = 63,57 \%.$$

Среднее полученное значение 63,5%, при норме 63±3%.

На рис. 5 можно рассмотреть образец препрега ЭМ-4-1080-63 после муфельной печи.



Рис. 5 – Препрег ЭМ-4-1080-63 после муфельной печи  
Авторская разработка

Стеклоткань более гладкая и блестящая в отличие от ЭМ-5.

### **Результаты**

В ходе расчетов определено, что препрег ЭМ-5-1080-63 наиболее подходящий для использования в качестве склеивающей прокладки, так как значения содержания смолы и летучих веществ входят в норму и не являются пограничными в отличие от VT-47PP 1080 и ЭМ-4-1080-63.

Выявлены отличия в ТУ испытания: после муфельной печи препрег ЭМ-5 необходимо отчистить от порошка, прежде чем взвешивать, а для ЭМ-4 и VT-47 этого делать не нужно; при испытании VT-47 используются 4 образца, а не 3; между собой препреги отличаются разным внешним видом, температурой стеклования и рабочей температурой.

### **Заключение**

В результате работы были проведены испытания на определение содержания смолы и летучих веществ препрегов марок: VT-47PP 1080, ЭМ-5-1080-63, ЭМ-4-1080-63. Выявлены отличия препрегов данных марок и особенности ТУ испытаний. Было определено, что из перечисленных марок

препрегов, ЭМ-5-1080-63 наиболее подходящий для использования в качестве склеивающей прокладки.

Рассмотрены характеристики данных марок склеивающих прокладок, особенности технологического процесса испытания. Проведен обзор методов использования препрегов в печатных платах, разновидности и краткое объяснение их создания.

Публикация подготовлена в рамках СРС по учебному курсу [6].

### Библиографический список

1. ГОСТ 26246.14-91 Материалы электроизоляционные фольгированные для печатных плат. Склеивающая прокладка, используемая при изготовлении многослойных печатных плат: дата введения 01.01.1993. – Москва: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 10 с.;
2. Ключевые характеристики материалов для производства печатных плат // Хабр: [Электронный ресурс]. – 2023 – URL: <https://habr.com/ru/companies/yadro/articles/731434/> (дата обращения: 25.10.2023).
3. Оборудование для контроля и управления технологическими процессами Инновационные разработки, инжиниринг: Производство печатных плат // АЛЛ ИМПЛЕКС РУС: [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.all-impex.ru/reviews/proizvodstvo-pechatnykh-plat/> (дата обращения: 25.10.2023).
4. Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учебное пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова. – 2-е. изд., стер. – М.: ВИАМ, 2019. – 472 с. : ил.
5. Плата\_AD // Altium: [Электронный ресурс]. – 2019 – URL: <https://www.altium.com/ru/documentation/altium-nexus/understanding-printed-circuit-board-makeup?version=1.1> (дата обращения: 25.10.2023).
6. Строительная механика, динамика и устойчивость композитных конструкций: учебное пособие/ Чекалкин А. А., Палкин Д. Д.; М-во науки и



высш. образования Рос. Федерации, Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. -Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2021. - 230 с.

7. Технология изготовления печатных плат: [учеб. пособие] / Л. А. Брусницына, Е. И. Степановских ; [науч. ред. В. Ф. Марков] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015 — 200 с.

*Оригинальность 75%*