

УДК 621.3.049.75

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОПЕРАЦИИ ПРЕССОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Балашов Игорь Юрьевич

Студент 6 курса

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.С. Боброва,

ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»,

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

1. Введение

Процесс изготовления многослойной структуры является ключевым в изготовлении современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). На настоящий момент, все виды печатных плат (в том числе гибкие, жестко-гибкие) для формирования многослойной структуры проходят операцию прессования, порой даже и не однократно. Продуктом операции прессования является многослойная печатная плата (МПП), для обеспечения требуемого качества которой, необходимо учитывать множество факторов.

В процессе прессования заготовка подвергается воздействию тепла и давления. Так как все используемые для прессования материалы связующих слоев являются реактопластами, в определенный момент, когда материал получит необходимое количество теплоты (для каждого типа материалов свое), связующее вещество меняет свои свойства, приобретая состояние геля, которое обладает значительно большей текучестью.

Именно благодаря повышению текучести, преобразованию связующего вещества в гель, заполняется топология печатной платы, заполняются утопленные переходы, вытесняется воздух из зазоров и образуется монолитная, целостная структура МПП.

Момент преобразования связующего вещества в гель, называемый «моментом гелеобразования», является критическим для всей операции прессования, так как определяет время выдержки при давлении первой стадии и начало второй стадии процесса. Если давление увеличивать раньше до момента гелеобразования, то выдавливается большое количество смолы. Это может грозить «диэлектрическим истощением» - разделяющий прессуемые слои слой связующего материала будет иметь недостаточную толщину, чтобы обеспечить требуемую изоляцию. Если давление отверждения прикладывается с опозданием, то заполняются не все пустоты, и монолитность МПП не обеспечивается [1].

В настоящее время определение момента перехода от давления первой ступени к давлению отверждения в реальном производстве осуществляют эмпирическим путем, что приводит к ухудшению воспроизводимости параметров МПП, браку при неправильном определении свойств материала или при неправильном учете режима операции прессования.

Предлагаемый метод, рассматриваемый в данной статье, позволит повысить выход годных на операции прессования и повысить воспроизводимость параметров МПП. Благодаря этому методу, станет возможным исключить такие дефекты как диэлектрическое истощение, вздутие, остаточные пустоты, слабая связь между слоями.

2. Сущность предлагаемого метода повышения качества операции прессования МПП

Топология печатной платы рельефна. Это означает, что два электрически разобращенных проводника ПП находящихся рядом образуют две обкладки одного печатного конденсатора. В практике изготовления печатных плат зачастую прибегают к замене объемных конденсаторов подобными печатными эквивалентами.

Таким образом, при рассмотрении печатного конденсатора в процессе прессования (рис. 1.) можно сделать вывод, что в момент гелеобразования, значение емкости должно возрасти из-за заполнения пространства между обкладками диэлектрическим связующим веществом. В этот момент, изменения емкости и необходимо повысить давление прессования для наилучшего заполнения пустот и вытеснения газов связующим веществом. Это обеспечит наилучшее качество МПП.

В рассматриваемом методе, предлагается проводить измерения значений емкости печатных конденсаторов в процессе прессования. Момент резкого изменения измеряемой емкости будет свидетельствовать о моменте гелеобразования.

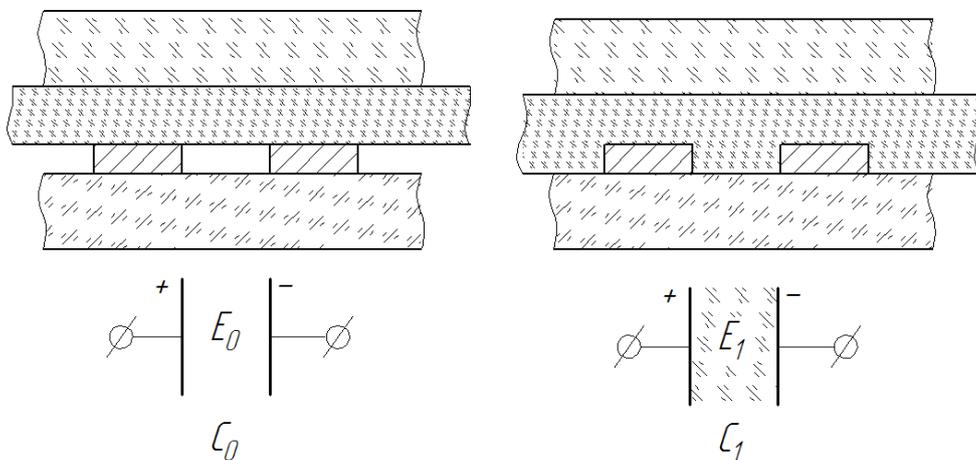


Рис. 1. Поперечный разрез модели печатного конденсатора до момента гелеобразования (слева) и после момента гелеобразования (справа) и их эквивалентные условные электрические обозначения.

Определив момент гелеобразования непосредственными измерениями в процессе прессования, можно гарантировать, что повышение давления до давления второй стадии прессования будет осуществлено вовремя. Таким образом, можно повысить качество операции прессования МПП и исключить такие дефекты как диэлектрическое истощение, вздутие, остаточные пустоты, слабая связь между слоями.

3. Реализация метода

Для осуществления метода необходимо изготовить печатные конденсаторы только на одном внутреннем слое из всего пресс-пакета будущей МПП. Этим обеспечивается достаточная технологичность метода, поскольку не требуется каких-либо дополнительных операций. Кроме того, контролируемые элементы могут быть расположены как в основном поле слоя, так и на технологических полях, чем обеспечивается достаточная гибкость и удобство применения метода.

Измеряемые печатные конденсаторы создаются совместно со всей остальной топологией слоя печатной платы. Необходимо лишь при проектировании топологии одного выбранного внутреннего слоя МПП на свободном поле добавить печатный элемент из библиотеки программы и развести его к краю платы.

При прессовании необходимо обеспечить возможность контакта обкладок печатного конденсатора с измеряющим устройством, которое будет считывать значение емкости. Возможность контакта можно обеспечить различными способами. К примеру, для проведения эксперимента в данной работе пресс-пакет был смещен к краю рабочей области прессы, таким образом, чтобы контактные площадки обкладок печатных конденсаторов были доступны для прямого контакта. Для практического применения метода наиболее рациональным будет применение пайки тонких проводов к контактным площадкам обкладок печатных конденсаторов на технологических полях внутреннего слоя.

4. Разработка и изготовление тестовых образцов

В рамках данной работы были разработаны тестовые образцы для экспериментального подтверждения метода определения момента гелеобразования. Тестовые структуры (ТС) представляют собой многослойные печатные платы, состоящие из 4 слоев на 2 основаниях. На внутреннем слое ТС широко известными методами печатных плат изготовлена топология печатных конденсаторов в различных областях рабочего поля заготовки, для возможности контроля момента гелеобразования по всей плате.

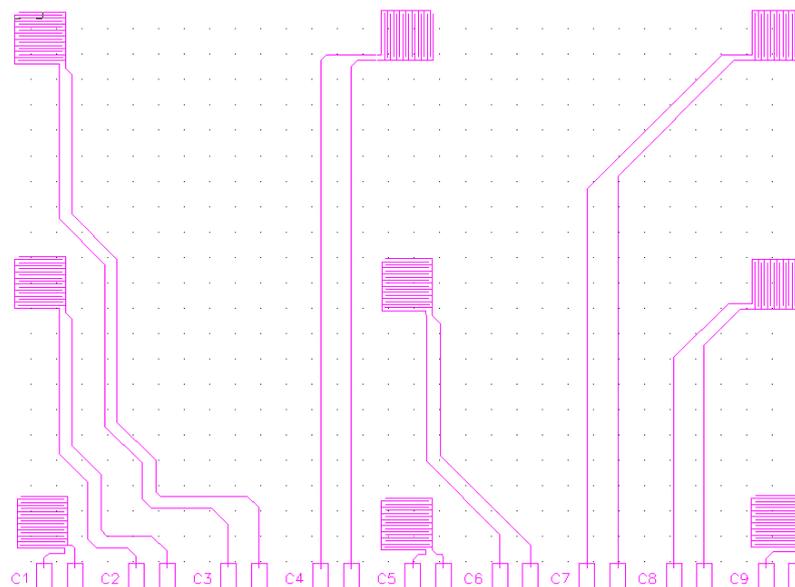


Рис. 2. Топология тестовой структуры

Каждое значение из печатных емкостей можно определить следующим образом:

$$C_i = C_{i_{\text{эл}}} + C_{i_{\text{пр}}}$$

где $C_{i_{\text{эл}}}$ – емкость печатного конденсатора, $C_{i_{\text{пр}}}$ – емкость подводящих проводников

$$C_{i_{\text{эл}}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d} = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{\varepsilon_{\text{возд}} + \varepsilon_{\text{осн}} + \varepsilon_{\text{преп}}}{3} \cdot \frac{h \cdot L}{Z} \cdot N$$

где, $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная, ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость среды, $S=h \cdot L$ – площадь обкладок конденсатора, $d=Z$ – расстояние между обкладками равно зазору между проводниками, $N=20$ – число попарных обкладок образующих один расчетный конденсатор.

$$C_{i_{\text{эл}}} = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{1 + 4,7 + 4,7}{3} \cdot \frac{35 \cdot 10^{-6} \cdot 12 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 10^{-3}} \cdot 20 = 1,289 \text{ пФ}$$

Согласно [2], действительная емкость всегда больше расчетной емкости на величину C_f , которая учитывает краевые эффекты для различного типа конденсаторов (рис. 13).

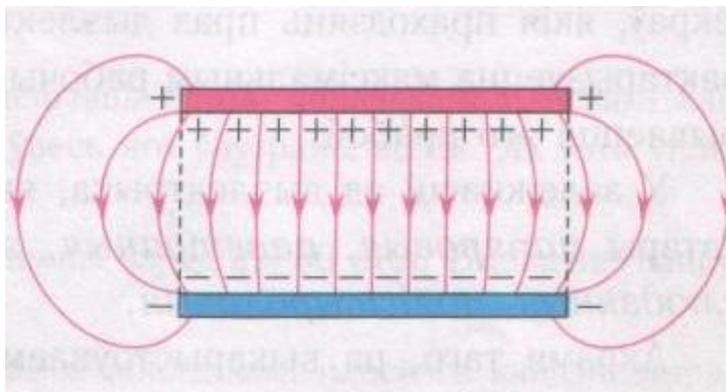


Рис. 3. Краевой эффект в параллельных пластинчатых конденсаторах

Для практических расчетов согласно [2] дополнительную емкость за счет краевых эффектов можно учесть в виде поправки к фактическим размерам пластин на 44% от их первоначальной величины. Таким образом, для емкости печатного конденсатора получаем значение

$$C_{i_{эл}} = 1,289 \cdot 1,44 \cdot 1,44 = 2,673 \text{ пФ}$$

Для расчета емкости подводящих проводников найдем погонную емкость. Для уменьшения влияния этой составляющей, при разработке ТС был увеличен зазор между проводниками до 2 мм.

$$C_{i_{пр.погон}} = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{1 + 4,7 + 4,7}{3} \cdot \frac{35 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 5,37 \text{ пФ/м}$$

С помощью программы проектирования ТС легко можно определить длину подводящих проводников с помощью функции Measure.

Таблица 1. Длины подводящих проводников к печатным конденсаторам, мм, пФ

$L_{пр1}$	$L_{пр2}$	$L_{пр3}$	$L_{пр4}$	$L_{пр5}$	$L_{пр6}$	$L_{пр7}$	$L_{пр8}$	$L_{пр9}$
5	70	150	150	5	60	150	60	5
$C_{пр.п1}$	$C_{пр.п2}$	$C_{пр.п3}$	$C_{пр.п4}$	$C_{пр.п5}$	$C_{пр.п6}$	$C_{пр.п7}$	$C_{пр.п8}$	$C_{пр.п9}$
0,027	0,376	0,806	0,806	0,027	0,322	0,806	0,322	0,027

Таким образом, получим расчетные значения емкостей ТС:

Таблица №2. Расчетные значения печатных конденсаторов ТС, пФ

C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9
2,70	3,05	3,48	3,48	2,70	2,99	3,48	2,99	2,70

После изготовления по технологиям печатных плат получили ТС готовую для проведения эксперимента.

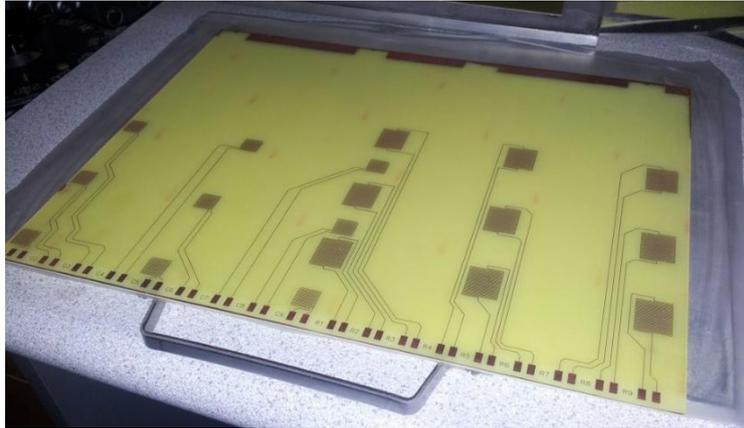


Рис. 4. Тестовая структура после этапа получения топологии (массив печатных конденсаторов – слева)

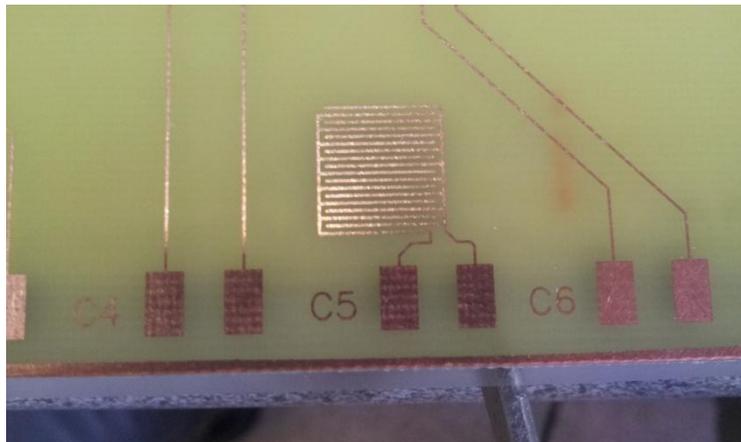


Рис. 5. Печатный конденсатор тестовой структуры

5. Экспериментальное подтверждение

После изготовления необходимой топологии был сформирован пресс-пакет, состоящий из двух оснований с промежуточным связующим слоем, антиадгезионных пленок и вспомогательных плит пресс-пакета. Этот набор помещен в лабораторный пресс Bungard RMP210, где были проведены предварительные измерения.



Рис. 6. Установка прессования МПП Bungard RMP210



Рис. 7. Формирование пресс-пакета

Измерения эксперимента проводились на измерителе импеданса **LCR-821** фирмы **Instek**



Рис. 8. Измеритель импеданса LCR-821 фирмы Instek

Таблица 3. Экспериментальные начальные значения емкостей печатных конденсаторов, пФ

Начальные данные									
№	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	3,08	3,38	4,21	4,22	3,08	3,35	4,08	3,45	3,01
2	3,03	3,52	4,05	4,13	3,15	3,58	3,97	3,32	3,05
3	2,95	3,35	4,15	3,98	3,07	3,37	3,95	3,45	2,97
4	3,05	3,58	3,95	4,2	2,97	3,33	4,02	3,51	2,92
5	3,07	3,37	3,98	3,97	2,99	3,52	3,92	3,33	3,09
Ci ср	3,036	3,44	4,068	4,1	3,052	3,43	3,988	3,412	3,008

По мере проведения операции прессования, непрерывно проводились измерения емкостей печатных конденсаторов тестовой структуры. Фиксировалось значение времени измерения, номер печатного конденсатора, значение его емкости и температуры плит пресса. Все данные были обработаны с помощью MathCAD 14.0 и представлены в виде следующих графиков:

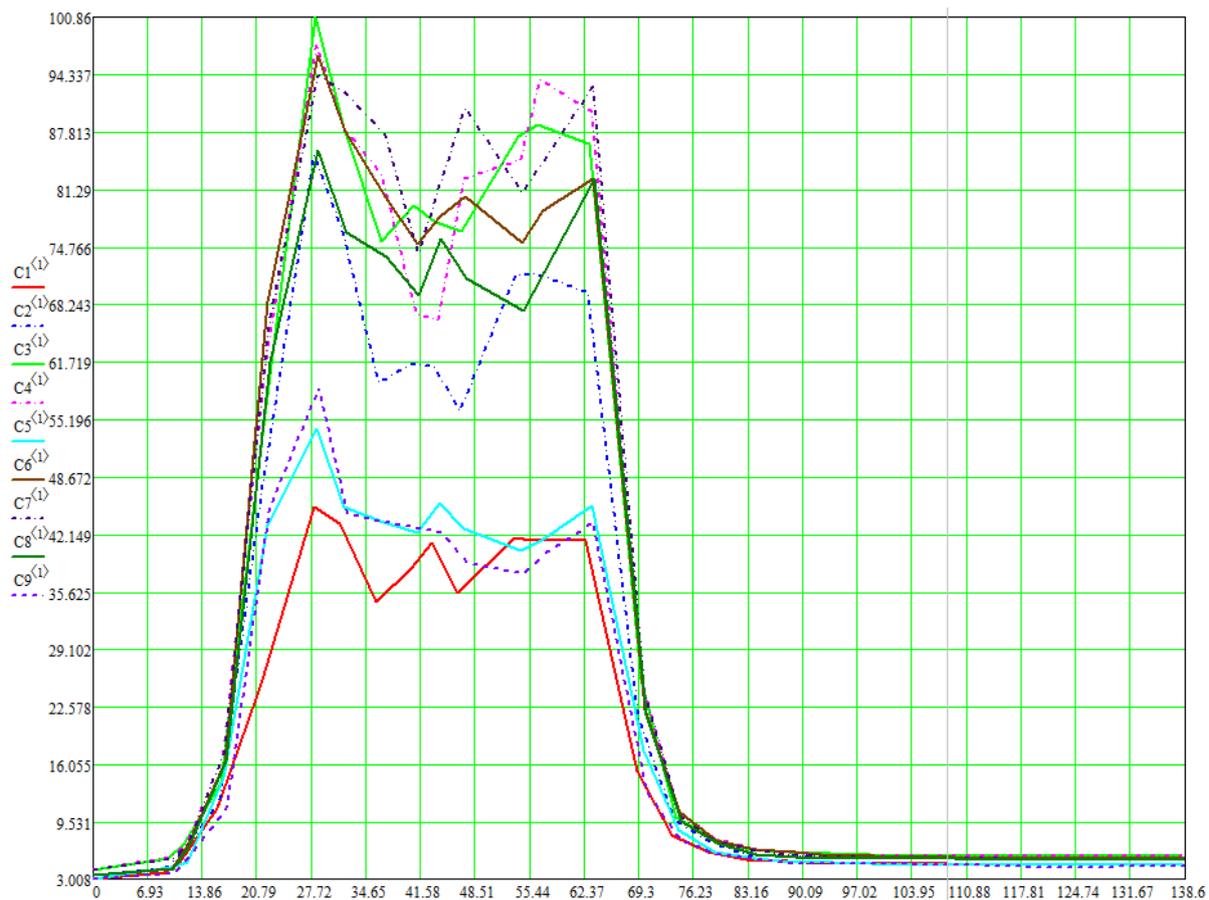


Рис. 9. Полученные графики зависимостей емкостей печатных конденсаторов от времени процесса прессования

Как видно из представленной совокупности графиков, наблюдается явная зависимость изменения емкости печатных конденсаторов в процессе прессования МПП. Рассмотрев более детально группы образцов емкостей можно определить характерный перелом значения емкости, который определяет момент гелеобразования.

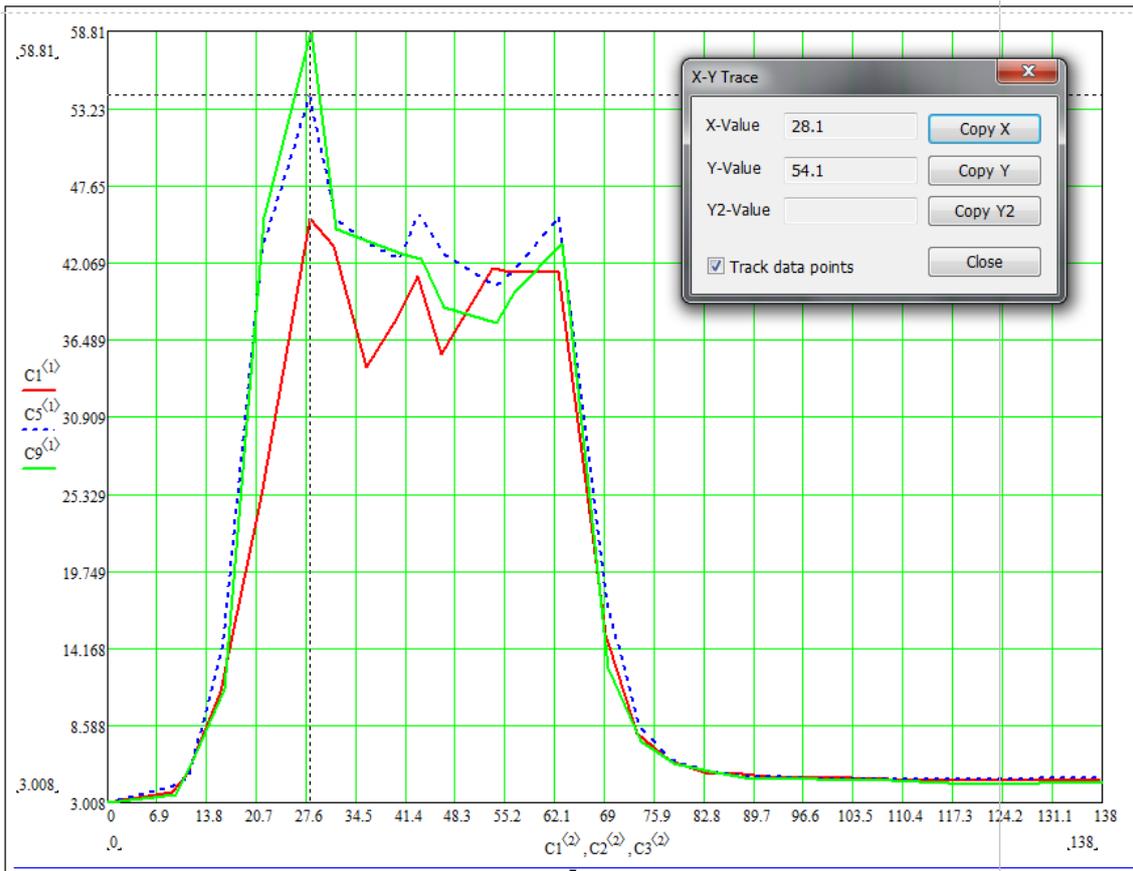


Рис. 10. Первая группа печатных конденсаторов, время гелеобразования 28,1 мин

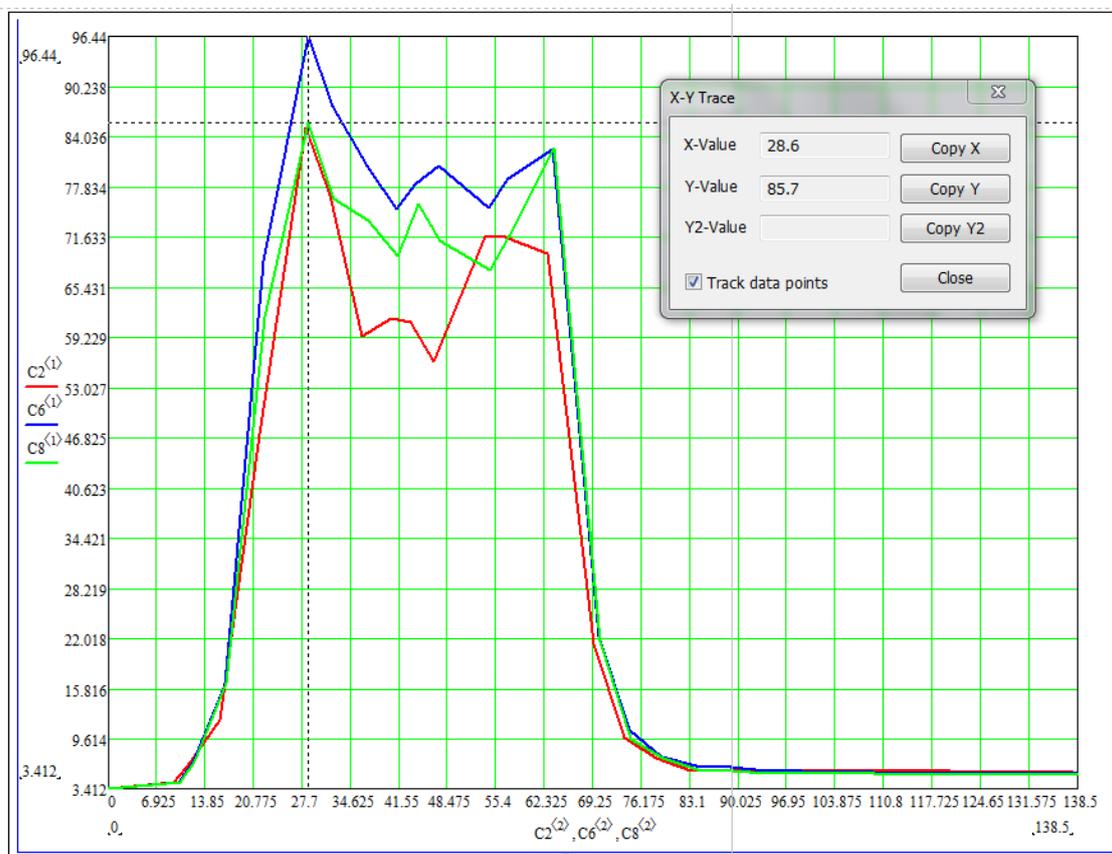


Рис. 11. Вторая группа печатных конденсаторов, время гелеобразования 28,6 мин

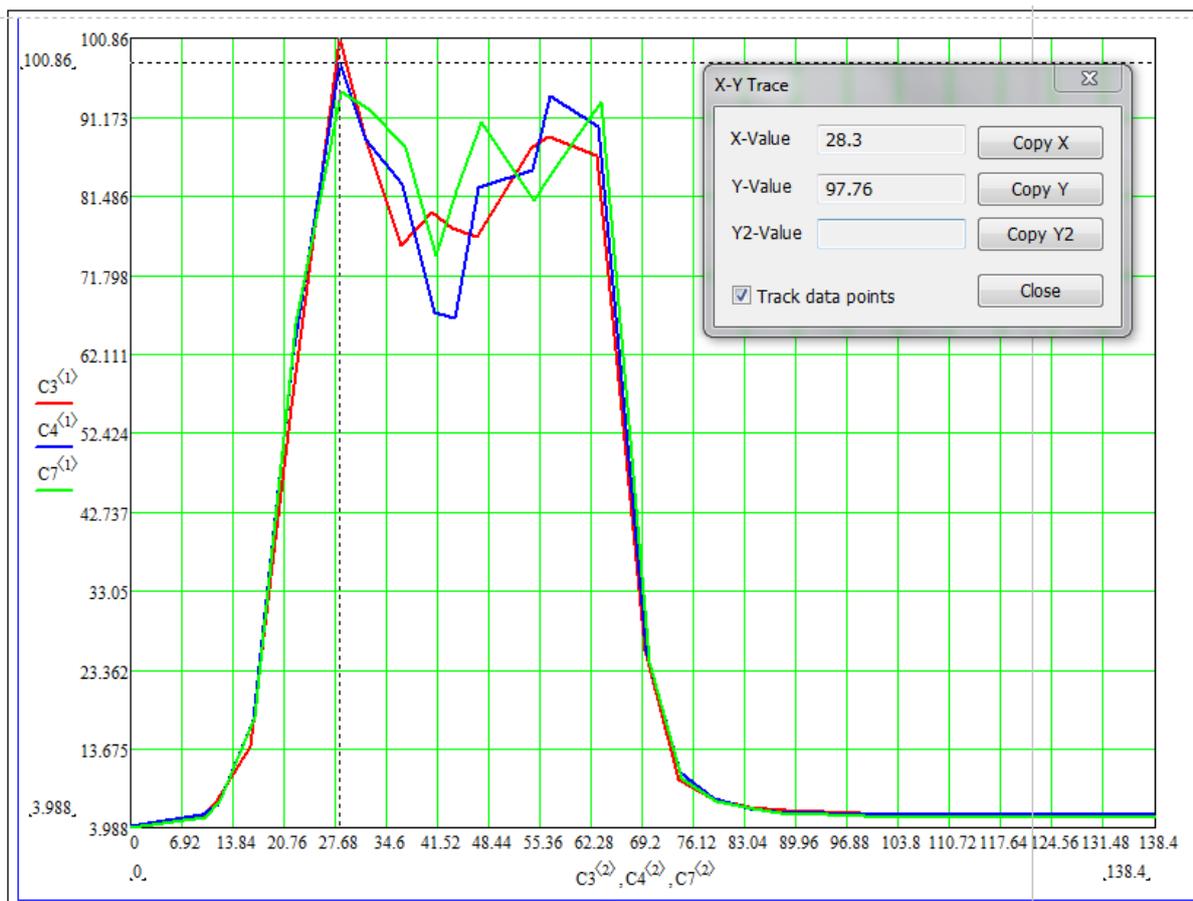


Рис. 12. Третья группа печатных конденсаторов, время гелеобразования 28,3 мин

6. Выводы по результатам эксперимента

Проанализировав полученные результаты эксперимента по прямому определению момента гелеобразования, можно сделать следующие выводы:

- Момент гелеобразования экспериментально определен с помощью измерения емкостей печатных конденсаторов, расположенных в рабочем поле прессуемой заготовки МПП;
- Момент гелеобразования наступает достаточно равномерно по площади заготовки;
- Для более точного определения необходимо фиксировать значения емкостей печатных конденсаторов с большей частотой, в эксперименте – 1 группа измерений в 5 минут. Желательно проводить измерения не реже 1 раза в 1 минуту.
- Изменение емкости в процессе прессования характеризуется сложной зависимостью, которая имеет 4 характерных участка:
 - 1 участок – рост значения емкости;
 - 2 участок – неравномерное изменение значение емкости после первого экстремума;
 - 3 участок – уменьшение значения емкости;
 - 4 участок – выравнивание значения до значений близким к расчетным после прессования.
- Момент гелеобразования характеризуется первым экстремумом зависимости емкости в процессе прессования

- Увеличение значения емкости на 1 участке – характеризует поведение «неидеальных» тел, которое не было учтено при расчете. Имеется ввиду, что под действием давления и температуры связующее вещество упруго и пластически деформируется в область между обкладками контролируемых конденсаторов, что приводит к изменению их емкости. Кроме того, значение диэлектрической проницаемости связующего вещества при повышении температуры возрастает, что объясняет рост значений емкости печатных конденсаторов;
- Экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными. Согласно расчету, отношение начального значения емкости к значению емкости после прессования:

$$\frac{\frac{\varepsilon_{\text{возд}} + \varepsilon_{\text{осн}} + \varepsilon_{\text{преп}}}{3}}{\frac{\varepsilon_{\text{осн}} + \varepsilon_{\text{преп}}}{2}} = \frac{\frac{1 + 4.7 + 4.7}{3}}{\frac{4.7 + 4.7}{2}} = 0,73$$

Согласно полученным экспериментальным данным среднее значение этого отношения 0,68;

- Данный метод определения момента гелеобразования можно применять как метод повышения качества операции прессования используя программные средства для нахождения экстремума зависимости емкости от времени прессования, который характеризует момент гелеобразования.

Литература

1. Технология производства печатных плат, А.М. Медведев, Москва, Техносфера, 2005. – 360с.
2. Печатные схемы в приборостроении, вычислительной технике и автоматике, А.Т.Белевцев, Москва, Машиностроение, 1973г.
3. Печатные платы, справочник, под редакцией К.Ф. Кумбза, Москва, Техносфера, 2011. – 1015с.
4. Исследование новых технологических операций при изготовлении прецизионных печатных плат. Заполненные переходные отверстия, И.Ю.Балашов, Сборник статей «Студенческая научная весна 2012: Машиностроительные технологии» Москва, 2012г.