Прессование прецизионных сложных МПП.

Технологические подходы. Выбор режимов и оборудования. Корректировка размерных изменений

В статье рассматриваются технологические аспекты прессования с использованием термореактивных и термопластичных склеивающих прокладок (препрегов) и без них, а также технологические аспекты высокотемпературного прессования (с температурой прессования >+350 °С). Анализируются технологические причины возникновения линейных и нелинейных размерных искажений и методы их корректировок.

Илья Лейтес

i_leytes@rts-engineering.ru

Технология прессования

Наибольшее распространение в отечественной и зарубежной практике получили многослойные печатные платы (МПП) на стеклоэпоксидной основе. Диэлектрик этих МПП представляет собой многослойную структуру из стеклоткани, пропитанной полуполимеризованной эпоксидной смолой. Процесс прессования таких МПП носит термореактивный характер и, с одной стороны, отличается термическим увеличением текучести смолы, а с другой — одновременным уменьшением ее текучести, связанным с формированием поперечных сшивок между линейными молекулами полуполимеризованной смолы препрега.

Соотношение скоростей обоих процессов зависит от скорости нагрева во время прессования и приводит к формированию реологических характеристик — параметров изменения вязкости во времени (рис. 1).

На начальном этапе цикла прессования процесс увеличения текучести (уменьшения вязкости) преобладает, и это характеризуется нисходящим участком реологической кривой; на втором этапе, наоборот, преобладает процесс уменьшения текучести (увеличения вязкости).

При выборе режимов прессования необходимо учитывать следующие закономерности:

1. Чем больше скорость нагрева, тем меньшую вязкость (большую текучесть) можно достичь. При этом происходит хорошее заполнение рельефа; хороший вынос пузырьков, подтверждающий высокую монолитность структуры. Однако при этом одновременно обильно вытекает облой и высока вероятность обеднения смолой структуры МПП (рекомендуемая ширина вытека облоя около 25 мм по периферии заготовки). Кроме того, при высокой скорости нагрева и малой вязкости смола быстрее теряет состояние текучести.

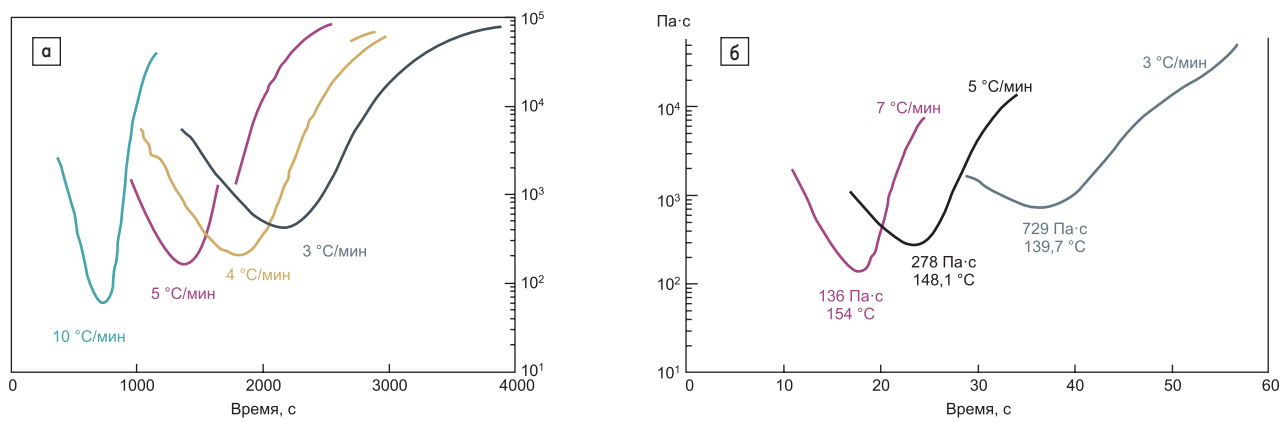

Рис. 1. Реологические характеристики термореактивных препрегов разных марок: а) AT01; б) IS620

Рис. 2. Гибкий производственный модуль Work Cell² Bürkle

2. Скорость нагрева зависит от выбранного режима прессования в части начальной температуры плит пресса в момент их смыкания (режимы приведены для стандартного FR 4):
   – холодный старт — температура при смыкании плит +20…+30 °С, скорость нагрева +3…+4 °С/мин;
   – теплый старт — температура при смыкании плит +100…+120 °С, скорость нагрева +5…+7 °С/мин;
   – горячий старт — температура при смыкании плит около +180 °С, скорость нагрева +10 °С/мин.
3. Чем меньше скорость нагрева, тем больше минимально достижимая вязкость (смола менее текуча), тем менее эффективно заполнение рельефа (склонность к непропрессовке), тем меньше вытек облоя (вероятность остатков пузырьков на периферии рабочего поля МПП); возможно смещение волокон стеклоткани (формирование внутренних напряжений). Однако чем меньше скорость нагрева, тем дольше смола сохраняет состояние текучести.

После однократного цикла прессования термореактивные смолы уже не переходят в текучее состояние при повторном нагреве.

Другим типом диэлектрического материала для формирования структуры МПП являются термопластичные смолы, которые могут многократно переходить в текучее состояние при каждом цикле нагрева.

В связи с этим возможны следующие способы формирования структуры МПП:

1. Прессование многослойной структуры за один цикл, состоящей только из материалов на базе PTFE — политетрафторэтилена (фторопласта), как с использованием склеивающих прокладок, термопластичных или термореактивных, так и без склеивающих прокладок.
2. Прессование многослойной структуры за один цикл, состоящей как из одного типа диэлектрика, так и из различных типов диэлектрика (но при этом используется один тип препрега — термопластичный или термореактивный).
3. Последовательное прессование структур, состоящих из различных типов диэлектрика с различными типами препрега.

Последовательное прессование реализуется либо термореактивными препрегами, либо термопластами с последовательным уменьшением температуры плавления используемых склеивающих прокладок.

Материалы

Прессование МПП на основе стандартных стеклоэпоксидных диэлектриков (типа FR 4 — на основе дифункциональной, тетрафункциональной, многофункциональной эпоксидной смолы) широко распространено и давно известно. А потому в рамках данной статьи нет смысла углубляться в эту тему. Последнее время становится актуальным изготовление СВЧ МПП, для которых используются диэлектрики с уменьшенными значениями диэлектрической постоянной (ε). В связи с этим на рынке появилось большое количество подобных материалов. Приведу в качестве примера некоторые из них.

Термореактивные склеивающие пленки:

- Speadboard C — сополимер PTFE с термореактивным эпоксидным сополимером. $T_{прес}$ = +180…+220 °С;
- Fast Rise 27 (Taconic) — пленка PTFE, наполненного керамикой, покрытая термопластичным адгезивом. $T_{прес}$ = +215 °;
- TagPreg TP32 (Taconic) — для склеивания RF35, RF35P, RF35A и TacLam. $T_{прес}$ = +200 °С;
- 25N/25FR (Arlon) — неполярная термореактивная смола, наполненная керамикой и армированная стеклотканью. $T_{прес}$ = +182…+200 °С;
- RO 2929 (Rogers) — неармированный термореактивный тонкопленочный адгезив. $T_{прес}$ = +245…+250 °С.

Термопластичные склеивающие пленки:

- CTFE — хлортрифторэтилпропилен (Таконик Такбонд HT1.5; Arlon 6250/6700; GenClad). $T_{прес}$ = +218…+220 °С;
- FEP — фторированный этилпропилен (Дюпон FEP, FEP C20; RO3908), неполярная термореактивная смола, наполненная керамикой и армированная стеклотканью. $T_{прес}$ = +274…+280 °С;
- PTFE — политетрафторэтилен (RO3000 bond ply). $T_{прес}$ = +382…+390 °С. Для фольги 18 и 35 мкм склеивающая прокладка необязательна.

Оборудование

Коль скоро в описании склеивающих прокладок упомянуты температуры прессования, хочу обратить внимание заинтересованного читателя на то, что высокая температура прессования (>+350 °С) требуется только для прессования фторопласта (PTFE) со склеивающими прокладками RO 3000 фирмы Rogers либо без прокладок вовсе. При этом альтернативой может служить, например, использование склеивающей прокладки RO 2929 (или аналогичной), которая позволяет снизить температуру прессования. Дело в том, что масляные прессы для МПП (в частности, прессы компании Bürkle, давно и хорошо известные в РФ) выпускаются под три диапазона максимальных температур прессования: +260, +330 и +400 °С. Последний из вариантов требует применения специального масла, работающего в инертной атмосфере, а значит, пресс должен быть оснащен азотной станцией — это существенно удорожает стоимость пресса и усложняет его эксплуатацию. Вот почему при выборе пресса я бы рекомендовал технологам, прежде чем выбрать модель с максимальной температурой прессования +400 °С, вспомнить известную поговорку и семь раз отмерить, прежде чем отрезать (то есть подумать, насколько целесообразно заказывать пресс с температурой прессования до +400 °С).

На рис. 2 представлена конфигурация автоматизированного центра прессования Bürkle. Это один из вариантов оснащения прессового участка, особенностью которого являются:

- автоматизированная система загрузки/выгрузки (актуальная при работе с крупногабаритными тяжелыми пресс-формами);
- наличие одного или двух горячих прессов и холодного пресса, позволяющих сократить цикл прессования в горячем прессе и за счет этого увеличить общую производительность участка;
- наличие в составе центра стеллажа хранения пресс-форм, оптимизирующего организацию труда на участке.

На рис. 3 приведен пример планировки прессового участка средней производительности, его специфика, особенно актуальная при изготовлении прецизионных МПП, заключается в том, что на операции сборки пакета имеется чистая зона, соответствующая классу 6 ИСО ГОСТ 14644.

Линейная и нелинейная корректировка размерных изменений

Коррекция размерных изменений важна при изготовлении любых ПП. Изготовление ПП 6–7-го классов точности по ГОСТ Р 53429-2009 (прецизионных ПП) уже невозможно без выполнения коррекций размерных изменений. Основная коррекция размерных изменений чаще всего производится на двух этапах — на стадии после травления рисунка слоев (post-etch) и после прессования.

Коррекция баз после травления (post-etch) вызвана необходимостью компенсировать размерные изменения, возникающие при частичном удалении (стравливании) фольги на слоях и связанные с проявлением внутренних напряжений, сформированных при прессовании ламинатов. Эти размерные изменения зависят от конфигурации проводящего рисунка конкретного слоя (от того, где и сколько стравлено меди).

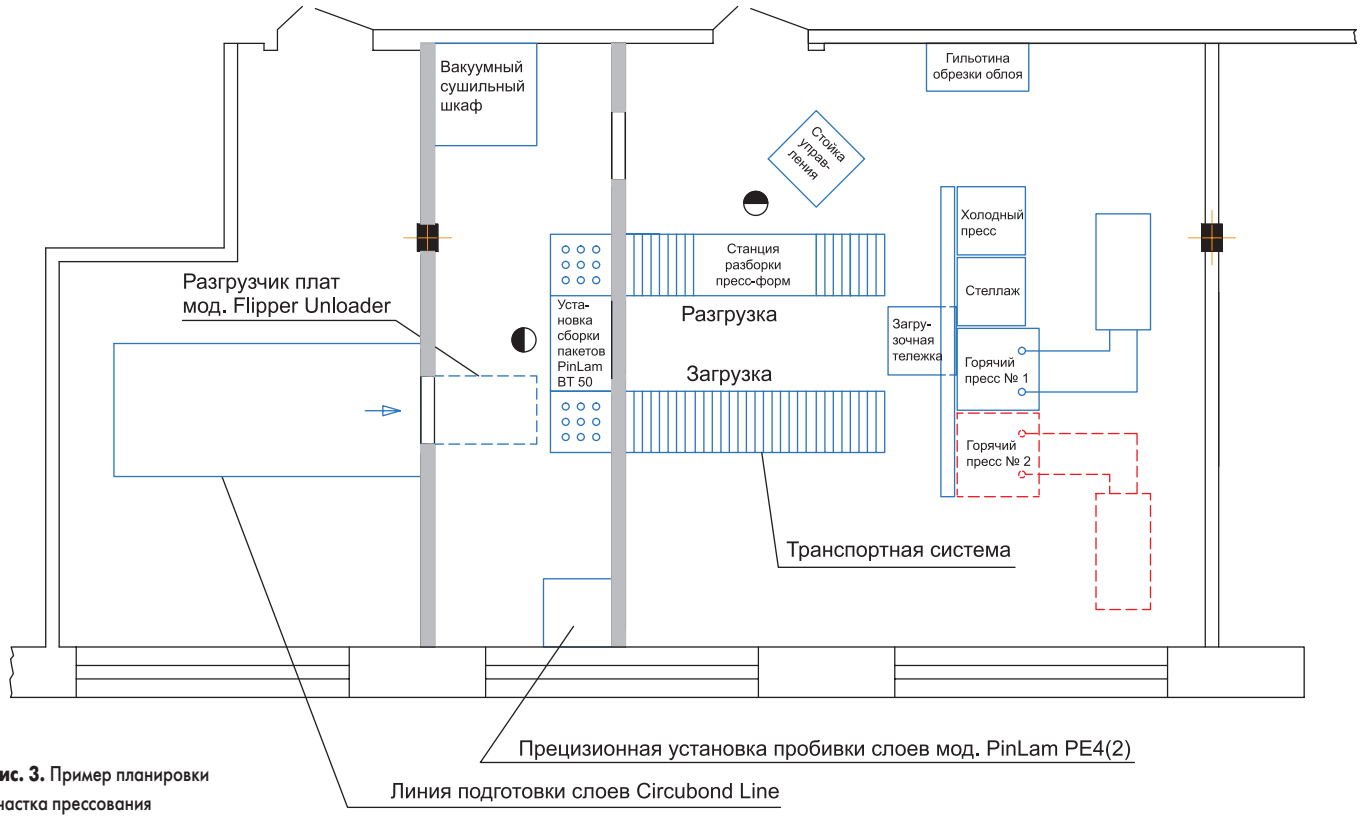

Рис. 3. Пример планировки участка прессования

Для ПП 6–7-го класса точности предпочтительной в части обеспечения точности и простоты технологического освоения является система слотового совмещения, при наборе пакета прессования реализуемая установками фирмы Picard (система штифтового совмещения PinLam). В ходе данного процесса слои последовательно набираются в пакет с предварительным формированием (пробивкой) четырех прецизионных слотовых баз после корректирующего смещения по реперным точкам, на слотовые прецизионные штифты установленные в пресс-форму для прессования.

Основные преимущества этой системы:

1. Простое технологическое освоение — пакеты набирают на штыри в пресс-форме и все (не надо подбирать режимы бондирования в зависимости от структуры пакета).
2. Фиксация на слотах по лыскам — в поперечном направлении при наличии зазора в продольном направлении слотов задает размерным искажениям линейный характер. При использовании данного способа происходит физическая систематизация размерных изменений при прессовании, и это существенно упрощает процедуру коррекции размерных изменений после прессования.

На рис. 4 проиллюстрирована систематизация размерных изменений при 4-слотовом базировании с корректировкой баз post-etch по системе PinLam, а на рис. 5 показан внешний вид установки PE-2 от компании Picard.

В процессе прессования происходят наибольшие размерные изменения (до 100–200 мкм на заготовке 500×400) притом что у прецизионных ПП разница между диаметром сверла и диаметром КП минимизирована. В этих условиях для того, чтобы обеспечить гарантированное попадание сверла в КП внутренних слоев, необходимо проводить еще один этап коррекции. Для его реализации «РТС Инжиниринг» предлагает рентгеновский станок фирмы Pluritec (рис. 6).

Вообще существует несколько методов корректировки размерных изменений, но рентген является наиболее эффективным и технологичным. С его помощью корректировка производится программным анализом положения реперных меток на каждом слое и введением оптимизирующего коэффициента масштабирования в программу сверления баз и всего

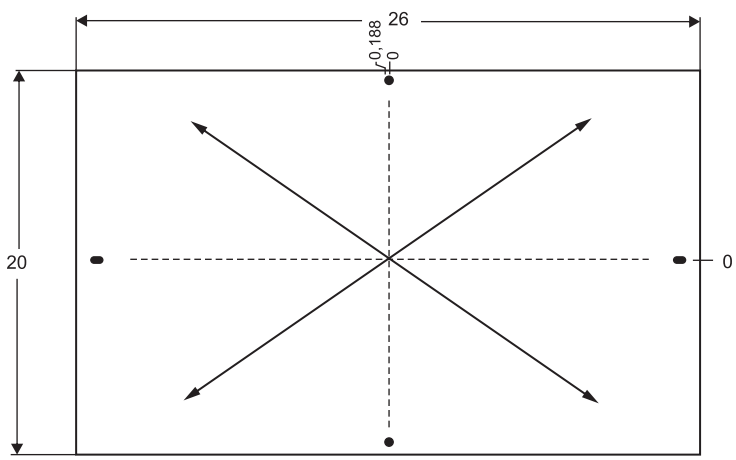

Рис. 4. Систематизация размерных изменений при 4-слотовом базировании с корректировкой баз post-etch по системе PinLam

Рис. 5. Прецизионная установка пробивки базовых отверстий во внутренних слоях после травления, производство компании Picard

Рис. 6. Рентгеновский станок Pluritec (Италия)

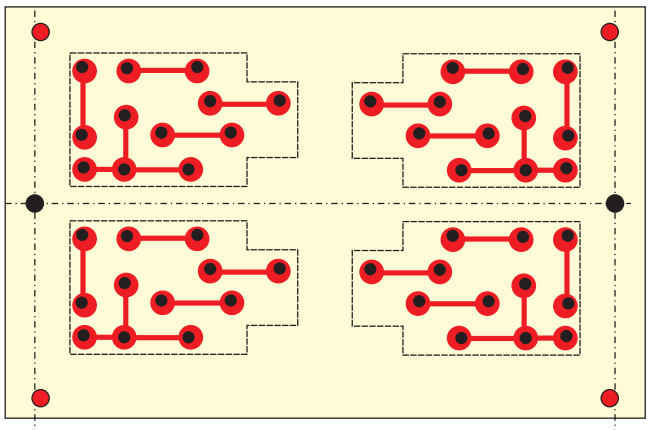

Рис. 7. Корректировка линейных размерных искажений

массива переходных отверстий. При этом сверление баз и всего массива переходных отверстий может выполняться за «один установ» с обеспечением повышенной точности. Предусмотрено конфигурирование станка таким образом, чтобы за тот же «один установ» выполнялась и фрезеровка.

Другой вариант — использовать станок лишь для сверления откорректированных баз. При этом обеспечивается повышенная производительность, поскольку сверление массива переходных отверстий происходит на высокопроизводительном «чисто» сверлильном станке по откорректированным базам.

При использовании технологии PinLam, когда размерные изменения носят линейный характер, достаточно вводить единый коэффициент масштабирования на всю заготовку по двум или четырем реперным точкам на периферии рабочего поля (рис. 7).

Станки фирмы Pluritec позволяют проводить и корректировку нелинейных размерных изменений. При нелинейных размерных изменениях (возникающих, например, при безбазовом методе совмещения — MassLam) уже недостаточно описанной выше оптимизации, чтобы минимизировать смещение сверла от центра отверстия. В этом случае необходимо разбить площадь заготовки на несколько секций (фрагментов). Для каждого фрагмента коэффициент масштабирования рисунка должен быть задан индивидуально рентгеновской системой и сразу просверлен с индивидуальной относительной компенсацией (то есть со своим коэффициентом масштабирования). Кстати, в связи с особенностью конструкции стола рентгеновские станки Pluritec одни из немногих на рынке аналогичного оборудования позволяют устанавливать реперные точки практически в любом месте рабочего поля стола (рис. 8).

При этом печатная плата будет зафиксирована на столе станка во время всего процесса оптимизации и сверления. Используя описанную технику оптимизации, станки компании Pluritec позволяют существенно уменьшить смещения отверстий на плате относительно центров КП, вызванные как линейными, так и нелинейными искажениями.

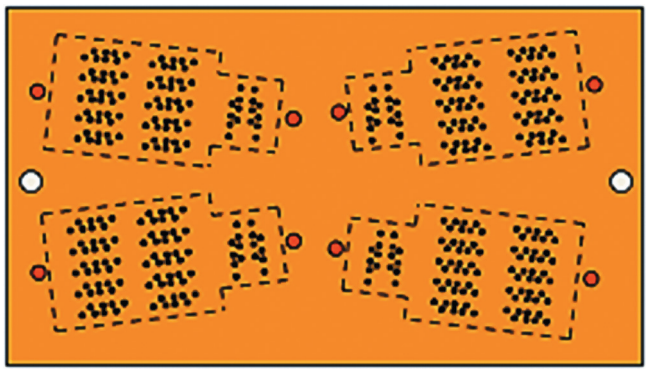

Рис. 8. Система корректировки нелинейных искажений (MassLam)

Заключение

Ограниченный формат журнальной статьи, естественно, не позволил коснуться всех аспектов таких необъятных тем, как прессование и размерные корректировки. Автор исходил из того, что подготовленному читателю известна большая часть изложенного материала, поэтому видел свою основную задачу в попытке его систематизировать.

Хочу также сказать, что, по моему глубокому убеждению, не существует универсального варианта технологического оснащения, годного для любого производства. Задача технолога — выбрать оптимальный вариант, при этом двух одинаковых вариантов для разных производств не должно быть (если они оптимально выбраны).

Надеюсь, что представленный материал поможет изготовителям ПП в выборе оптимального технологического варианта в части прессования ПП и корректировки размерных изменений.