



Методы прессования многослойных печатных плат из фторопласта

СВЧ-диэлектрики из политетрафторэтилена (ПТФЭ) все чаще применяются как в СВЧ-платах, так и в высокопроизводительных цифровых устройствах. Высокие частоты и скорость передачи данных требуют использования материала с очень низкими электрическими потерями, высокой диэлектрической проницаемостью и узким допуском по толщине. Основания из ПТФЭ обладают всеми этими характеристиками, а также превосходной пропускной способностью, которая позволяет широко использовать данный материал. Конструкторы постоянно ищут способы сохранить вес и габариты изделий, а также стремятся к созданию сверхплотных многослойных схем. Исторически возможности прессования МПП из ПТФЭ со сверхплотными слоями были ограничены, поэтому количество слоев тоже было ограничено двумя.

Рич Трайн

Существует четыре типа МПП из ПТФЭ-материалов: одноразовое прессование, все из ПТФЭ-оснований; одноразовое прессование из смеси диэлектриков; последовательное прессование, все из ПТФЭ-оснований; и, наконец, последовательное прессование из смеси диэлектриков.

Чаще всего многослойные СВЧ-платы — это простые трехслойные платы, в структуре которых присутствуют ПТФЭ-материалы, объединенные при помощи соединяющей пленки или в результате сплавления в одно целое. Такие платы производились многие годы, но не в таких объемах, которые можно было бы назвать средними или большими. Другой тип плат был создан в последнее десятилетие. Это смешанный диэлектрик, в котором высокочастотная схема нанесена на ПТФЭ-основание и соединена с эпоксидным основанием, на котором размещается схема, обрабатывающая низкочастотный или цифровой сигнал. Преимущество такого типа многослойного материала в том, что он позволяет уменьшить габариты и использовать для склейки стандартный эпоксидный препрег, который обычно используется в большинстве плат.

Другие схемы могут использовать комбинацию ПТФЭ-материалов и других типов оснований для создания плат с четырьмя и более слоями, обычно при этом требуется многослойное или последовательное прессование. Последовательное прессование относительно простое и используется уже в течение многих лет. Основные материалы для него —

термореактивные эпоксидные материалы. В типичном последовательном прессовании участвует несколько слоев, спрессованных вместе, которые затем просверливают и на которые наносят гальваническое покрытие. После этого объединяют еще большее количество слоев. При использовании термореактивных эпоксидных плат можно соединять слои, просверливать их, наносить гальваническое покрытие столько раз, сколько нужно, до тех пор, пока плата не будет закончена.

До недавнего времени ПТФЭ-основания имели ограничения в создании многослойных структур из-за сложности последовательного прессования. Вся сложность заключалась в том, что соединяющая пленка, которая использовалась для соединения ПТФЭ-оснований, была термопластичной и любые термические воздействия (другой цикл прессования) выше точки плавления склеивающей пленки обычно приводили к расслоению. Некоторые платы делали в два этапа. При последовательном объединении для первого прессования использовалась склеивающая пленка с относительно высокой температурой плавления, а для второго прессования — склеивающая пленка с меньшей температурой плавления. Однако для трех и более последовательных этапов прессования лучше всего использовать термореактивное склеивание слоев или сплавление. Сплавление — это прессование полимерной конструкции при высокой температуре. Температура прессования — около 370 °С. Это превышает воз-

возможности многих промышленных прессов, но представляет эффективный способ для объединения ПТФЭ-оснований. В некоторых случаях ПТФЭ-пленка используется для склейки, чтобы лучше заполнить пространство во внутреннем контуре.

Оборудование

Комплект оборудования для прессования печатных плат состоит из пресса, прокладок, разделительных листов и несущих плит. Второстепенное оборудование, такое как загрузочное или очищающее устройства для плат, в статье рассматриваться не будут.

Пресс

В прессах склеивающий материал подвергается нагреванию и находится под давлением для того, чтобы активизировать механизм, который вызывает соединение внутренних слоев. В наши дни существует три основных типа прессов. Наиболее распространенные прессы используют гидравлические цилиндры для создания давления на плиты. Плиты разогреваются паром, горячим маслом или электрическими элементами. Второй тип прессов отличается от первого тем, что в нем есть вакуумная камера вокруг плит, с помощью которой удаляются кислород и летучие вещества до и во время процесса прессования.

К этим двум типам прессов можно добавить многопозиционный пресс, оснащенный системой охлаждения. Этот пресс используется, когда спрессованные многослойные заготовки охлаждены ниже температуры плавления склеивающей пленки или используемого слоя (материала). Заготовки помещают в охлаждающий пресс для завершения процесса под давлением. Вода поступает в плиты многопозиционного пресса и охлаждает заготовки до комнатной температуры. Использование многопозиционного пресса с системой охлаждения позволяет повысить производительность процесса.

Третий тип прессов на самом деле прессом назвать нельзя. Это автоклав, который использует газ для прессования и нагрев для склеивания слоев. Очень немногие промышленные автоклавы используются при производстве печатных плат; однако они имеют преимущество — оказывают большее давление на прессуемый пакет.

Процесс нагрева в обоих типах прессов, как в гидравлическом, так и вакуумном, может происходить по-разному. Нагрев паром в настоящее время используется редко. При использовании горячего масла нужен бойлер для его нагрева, которое затем подают насосом в плиты. Прессы, использующие горячее масло, лучше распределяют тепло, чем те, которые нагреваются электрически, но обычно они дольше разогреваются до максимальной температуры и дальше охлаждаются до комнатной. Даже при всем этом многие считают, что прессы, которые используют горячее масло, обеспечивают бо-

лее прочное соединение, и предпочитают их. Прессы, которые разогреваются электрически, в эксплуатации обычно проще, так как не нужно отдельного бойлера, помпы или трубы, которые необходимы для пресса с использованием горячего масла.

Основные характеристики пресса зависят от типа и размера многослойного материала, который прессуют. Прессы, которые используются для соединения эпоксидных материалов или многослойных плат, обычно оснащены вакуумной камерой и чаще всего имеют ограничения по максимальной температуре на уровне 204 °С. Эта температура недостаточно высока для того, чтобы использовать склеивающие пленки, такие как CTFE

Таблица 1. Максимально допустимые температуры для пресса

Тип склеивающей пленки		Сплавление (напрямую, без пленки)
CTFE	FEP	
218 °С	274 °С	382 °С

или FEP, которые, как правило, применяются при склеивании ПТФЭ-материалов, а также недостаточно высока для сплавления ПТФЭ-материалов. Для того чтобы можно было соединить ПТФЭ-материалы, используя термопластическую пленку для метода сплавления, пластины пресса должны разогреваться до температур, указанных в таблице 1. Температура плавления кристаллической структуры склеивающей пленки немного меньше температуры, указанных в данной таблице.

Размер прессуемых материалов или многослойного материала определяет давление, которое должен создавать пресс. Большинство прессуемых печатных плат имеют максимальный размер 457×610 мм. При склеивании с использованием CTFE или FEP-пленок необходимо давление от 7 до 14 бар.

Сплавление происходит при таком же давлении, как и для термореактивных препрегов, от 21 до 34 бар, хотя для «деликатной» обработки (например, для плат со скрытыми межслойными переходами) может потребоваться более низкое давление (около 7 бар).

Большинство прессов, которые используются в настоящее время в производстве печатных плат, можно было бы переоборудовать для достижения высоких температур сплавления, однако увеличение давления, необходимого для сплавления, может стать невозможным или нерациональным. Размер

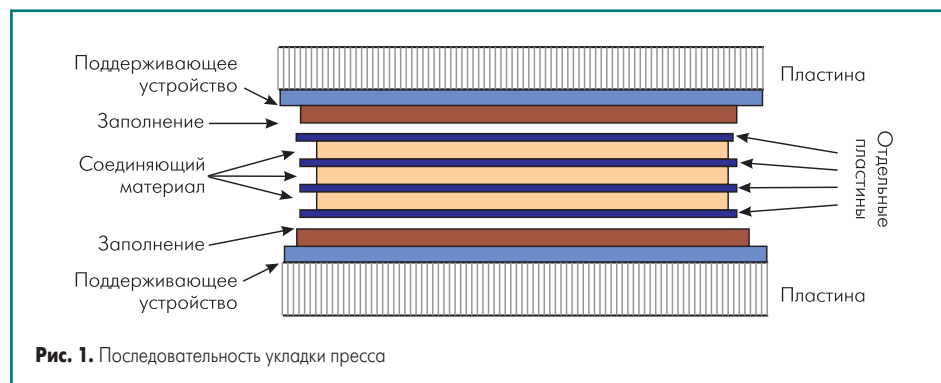
плиты всегда можно уменьшить для увеличения давления на нее, однако высокое давление может привести к появлению отиска на плитах, делая их бесполезными для дальнейшего прессования.

Для прессования нескольких заготовок необходимы несущие плиты, прокладочные листы и пресс-форма. Несущие плиты — это стальные плиты толщиной от 5 до 12 мм, которые удерживают пакеты заготовок в прессе, как показано на рис. 1.

Прокладочные листы разделяют единичные пакеты многослойных заготовок. Благодаря им формируется ровная поверхность заготовок, несмотря на рельеф медных проводников многослойных плат. Перед прессованием прокладочные листы необходимо очистить и убедиться, что на них нет царапин и впадин. Любые дефекты на прокладочных листах могут перенестись на поверхность многослойной платы и стать причиной ее неприемлемого состояния. Прокладочные листы обычно пропускают через чистящее устройство после каждого использования и укладывают между ними плотную бумагу, когда отправляют на хранение.

Важная часть процесса прессования — это выравнивающие прокладки. Их назначение — компенсировать такие огрехи, как непараллельность плит, незначительная искривленность или коробление плит, различная толщина прокладочных листов или несущих плит. Выбор материала прокладочных листов зависит от температуры плавления или отверждения склеивающей пленки или препрега, используемых в каждом конкретном случае. Если температура пресса не превышает 232 °С, для прокладок обычно используется несколько пачек толстой крафт-бумаги. Если применяются более высокие температуры, то используют кремнийорганическую резиновую смесь до температур, не превышающих точку ее плавления. При очень высоких температурах могут использоваться как графитовая, так и плетеная нержавеющая прокладка.

Какой бы материал для заполнения ни применялся, его способности передавать давление и компенсировать огрехи будут ухудшаться по мере использования, и время от времени его нужно заменять. Кроме того, прокладки могут замедлять разогрев склеиваемого материала. Нужно принимать это во внимание при выборе прокладок.





Склеивающие пленки и препреги

В этой статье рассматриваются термопластичные клеивающие пленки. Препрег (предварительно пропитанные материалы) — это армированный стеклом терморезактивный полимер либо армированный стекловолокном или неармированный термопластический полимер, смешанный с терморезактивным полимером для образования клеивающей пленки. Выбор клеивающего материала или препрега зависит от того, где он будет применяться. Термопластическая клеивающая пленка обычно имеет низкий тангенс диэлектрических потерь и диэлектрическую проницаемость, но его нелегко использовать в последовательном прессовании или при высоких температурах из-за возможного расслоения пакета, когда промежуточный нагрев выше его точки плавления. Терморезактивные препреги очень хороши для последовательного прессования. Установлено, что, затвердев, они не плавятся вновь. Основные недостатки терморезактивных препрегов — это относительно высокий тангенс угла потерь. В последние годы были разработаны два продукта для одного изобретения, обладающих низким тангенсом угла потерь и подходящих для последовательного прессования. О них пойдет речь далее.

Термопластичные клеивающие пленки

Необходимо отметить, что соединяющие пленки и препреги предназначены для того, чтобы заполнять пространство между внутренними слоями после травления рисунка, в результате чего происходит механическое соединение слоев. Сплавление ПТФЭ, независимо от механического склеивания, объединяет молекулы ПТФЭ и является отличным способом для последовательного прессования. Некоторые термопластические клеивающие пленки можно использовать в печатных платах, например хлортрифторэтиленовые (CTFE), фторированные этилпропиленовые (FEP), политетрафторэтиленовые (ПТФЭ) и полиэтиленовые. CTFE используется для объединения многослойных ПТФЭ-материалов с середины 1970-х годов. Он известен под названиями «Таконик Такбонд НТ 1.5», «Арлон 6700», «Роджерс 3001».

Температура плавления CTFE составляет приблизительно 193 °С и, следовательно, в меньшей мере подходит для многослойных плат, которые, как мы увидим, работают при более высоких температурах (например, при конвекционном оплавлении припоя). Точка плавления для FEP — 260 °С. Эта пленка позволяет оперировать температурами конвекционного оплавления припоя. Использование FEP вместе с CTFE ограничивает возможности последовательного прессования. ПТФЭ или наполненная кварцем пленка иногда используются при сплавлении для того, чтобы лучше заполнить пространство между рельефами проводников на слоях многослойных плат. Точка плавления ПТФЭ

выше 332 °С, таким образом, он может выдержать последующие высокотемпературные процессы. При сплавлении ПТФЭ с 18-микронными или 35-микронными (по высоте) проводниками клеивающая пленка не нужна, но она может понадобиться, если высота проводников превысит 50 мкм. Полиэтилен как клеивающая пленка используется очень редко. Температура плавления полиэтилена колеблется от 88 до 121 °С в зависимости от плотности полимера и от того, подвергалась ли эта пленка облучению, увеличивающему шивку молекул.

Основное преимущество использования термопластических клеивающих пленок — это их низкий уровень диэлектрических потерь. Многослойные платы ПТФЭ хорошо известны благодаря своим замечательным электрическим свойствам, а использование эпоксидных препрегов, обладающих высокими диэлектрическими потерями, может все испортить. Склеивающие пленки могут и не обладать постоянными диэлектрическими свойствами для того, чтобы точно подбирать ламинаты, влияние этих свойств может быть незначительным и плата может конструироваться с учетом этих различий.

Терморезактивные препреги

Преимущества терморезактивных препрегов — в их способности конструировать многослойные платы последовательно, а также в широких промышленных возможностях для прессования при температуре их затвердевания. Как говорилось ранее, основная проблема терморезактивных препрегов — это относительно высокие диэлектрические потери. Идеальный препрег имел бы низкие потери и способность выдерживать многочисленные циклы прессования без опасности расслоений.

Два продукта были разработаны для того, чтобы воспользоваться терморезактивными способностями материала для последовательного прессования, а также свойствами низкой потери электроэнергии ПТФЭ-оснований. В. Л. Кор изобрел материал Speedboard C («быстрая плата») — терморезактивный препрег с низкими диэлектрическими потерями для склеивания ПТФЭ-оснований. В основном Speedboard C — это сополимер ПТФЭ с терморезактивным эпоксидным полимером, заполняющий пространство между частицами ПТФЭ при его шивке. Speedboard C обладает уровнем потерь ниже, чем стандартные эпоксидные терморезактивные препреги, а также свойствами термического отверждения, позволяющими осуществлять последовательное прессование многослойных печатных плат. Speedboard C — достаточно дорогой материал по сравнению с другими препрегами или клеивающими пленками.

Таконик изобрел TacPreg — препрег с низким уровнем потерь для СВЧ-лат и цифровых устройств. В отличие от Speedboard C, этот терморезактивный полимер заполняет

всю площадь ПТФЭ-препрега. Во время написания этой статьи TacPreg обладал диэлектрической проницаемостью 3,2. ВТ-эпоксидная смола на поверхности препрега позволяет осуществлять многочисленные последовательные прессования при температуре прессования и давлении, которые способна обеспечить большая часть современного оборудования. TacPreg — относительно недорогой материал по сравнению с обычными клеивающими пленками, используемыми для соединения ПТФЭ в многослойные структуры, и очень недорогой по сравнению со Speedboard C.

Процесс прессования

Успех прессования начинается с выбора соответствующих материалов. Как говорилось выше, некоторые клеивающие пленки и препреги позволяют облегчить соединение ПТФЭ-слоев, несущих рисунок проводников. Подготовка внутренних слоев — важный момент для хорошего прочного соединения. Основания внутренних слоев должны иметь медную фольгу с обеих сторон, даже если она нужна только с одной стороны. Это необходимо для клеивающей пленки или препрега полимера, чтобы они могли под воздействием температуры и давления впаиваться в рельеф поверхности и создавать прочное механическое соединение. Процесс считается законченным, когда рельеф на медной фольге впаивален в основание полностью. Когда медь стравливается, дендриты, которые удерживают фольгу на основании, также стравливаются, и остаются небольшие зарубки в ПТФЭ, которые заполняет соединяющее вещество. Последовательные процессы или обработка, которые нарушают текстурированную поверхность ПТФЭ, приведут к недостаточно прочному соединению и возможному расслоению. Если рисунок медных проводников нуждается в очистке, рекомендуется использовать только процесс химической очистки.

Вариации, которые влияют на нагрев пакета заготовок, включают высоту прессуемого пакета, количество выравнивающих прокладок, заданную температуру прессования и возможную скорость нарастания температуры прессования. Для прессования пакета с использованием термопластической клеивающей пленки скорость увеличения температуры не принципиальна. Для пакетов, использующих TacPreg или другие препреги с терморезактивным полимером, скорость увеличения температуры имеет значение, и необходимо в точности следовать рекомендациям производителя. Количество и толщина пакетов заготовок в каждом просвете пресса должны быть одинаковыми, чтобы облегчить однородность нагрева каждого пакета. Тип и количество выравнивающих прокладок тоже должны быть одинаковыми, чтобы обеспечить одинаковую теплопередачу. Если скорость нагрева критична, ее устанавливают экспериментально, чтобы определить, как много заготовок можно уло-

жить в просвете плит пресса, и сколько выравнивающих прокладок необходимо, чтобы получить желаемую скорость нагрева.

Другой важный момент при прессовании — начальная температура давления. Вообще говоря, прессование пакета с использованием термопластической склеивающей пленки или сплавлением пройдет успешно, если начальная температура прессования выше комнатной. Для некоторых терморезистивных препрегов начальная температура давления должна быть минимальной для того, чтобы предупредить отверждение смолы раньше нужного момента. Прочитайте рекомендации производителя для процесса прессования. Во всех процессах прессования самое важное — это разместить термопару в середине прессуемого пакета и в середину пространства между плитами пресса, чтобы контролировать увеличение температуры, временную выдержку и момент включения охлаждения. Это последний цикл прессования для достижения нужной температуры. Температура плиты неточно отражает температуру прессования. Для больших объемов прессования, когда используют большую высоту стопки пакетов плат, прокладок, большие толщины оснований, с высокой температурой отверждения соотносят данные термопары и данные температуры плиты. Показания термопары плиты используют для контроля увеличения температуры, длительности процесса и момента включения охлаждения.

Существуют различные способы соединения ПТФЭ-оснований между собой или с другими типами оснований. Выбор методов соединений зависит от сложности конструкции печатных плат. Для сверхплотных печатных плат со скрытыми или глухими межслойными переходами нужен один способ, в то время как для простых трехслойных плат с оловянным покрытием понадобится другой, а для трехслойных плат с оплавленным горячим воздухом припоем — третий. Важно, чтобы конструктор и инженер-технолог понимали возможности производства и нанесения финишных покрытий плат до того, как выберут способ их объединения.

Сплавление ПТФЭ-оснований

Сплавление — это способ прессования ПТФЭ-оснований, не требующий использования препрега или соединяющей пленки.

ПТФЭ-полимер нагревается до температуры 371 °С под давлением, превышающим 20 бар, и при этом происходит сплавление полимера. Этот процесс отличается от прессования с использованием склеивающей пленки тем, что склеивающие пленки впаляются в рельеф поверхности ПТФЭ, в те свободные места, которые остались после травления медной фольги, в результате чего образуется скорее механическое, чем химическое, соединение. Основные преимущества сплавления — в его способности последовательного прессования, а также в способности соединять пакеты слоев с возможностью выдерживать последующие процессы при тем-

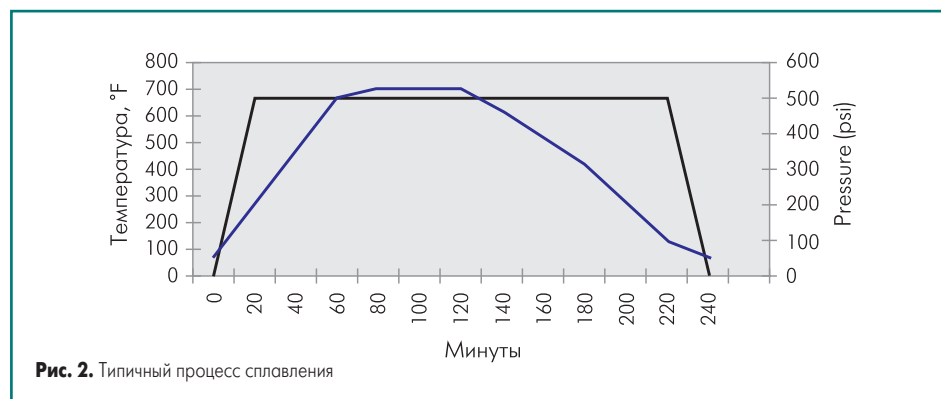


Рис. 2. Типичный процесс сплавления

пературе, превышающей 260 °С без расслоения. Основная проблема этого способа сплавления — температура свыше 371 °С и давление 34 бара, которые необходимо обеспечить прессом. Как уже упоминалось, лишь некоторые прессы для печатных плат обладают такой возможностью, однако их число постоянно увеличивается.

Рекомендуется для внутренних слоев использовать тонкую медь, например 18-микронную, чтобы обеспечить полное заполнение медного рельефа в процессе сплавления. Для многих плат с последовательным прессованием необходимы скрытые межслойные переходы, которые увеличивают толщину меди за счет гальванической металлизации отверстий. В таких случаях рекомендуется использовать тонкую ПТФЭ-пленку, чтобы обеспечить заполнение рельефа. ПТФЭ-пленка — это обычный пленочный ПТФЭ-полимер, сделанный путем нарезания огромных болванок ПТФЭ на тонкие слои. Нарезанные ПТФЭ-пленки могут быть разной толщины и размеров.

Прессование

Нужно аккуратно протравить внутренние слои, не трогая поверхности ПТФЭ после травления. Хотя особых требований к структуре поверхности и не предъявляется, механическая очистка может привести к изменению линейных размеров внутренних слоев, спровоцировав их рассовещение. Если необходима очистка медной поверхности, произведите химическую очистку. Прогрейте внутренние слои в течение 30 минут при температуре 105 °С, чтобы удалить любую

возможную влагу с поверхности. Поверхность ПТФЭ не нуждается в специальной подготовке. Разместите пресс-пакет с термопарой в середине между разгрузочными плитами. Положите этот пакет в холодный или горячий пресс, подвергните его давлению 20–34 бар и поддерживайте такое давление в течение всего цикла. Контролируйте температуру пресс-пакета. Когда она достигнет 370 °С, поддерживайте температуру на уровне 370–380 °С в течение 60 минут. Затем отключите нагрев и дайте пакету остыть до температуры приблизительно 230 °С, прежде чем начинать его быстрое охлаждение.

Склеивающая пленка TacBond HT 1.5

TacBond HT 1.5 — это термопластичная пленка СТФЕ (хлортрифторэтилен), используемая для объединения ПТФЭ-оснований.

СТФЕ используется в этих целях с середины 1970-х годов из-за великолепного склеивания и хороших электрических характеристик. Точка плавления кристаллической структуры СТФЕ — 202 °С, при которой можно использовать большинство прессов для печатных плат. TacBond HT 1.5 может использоваться для большого ряда ПТФЭ-материалов и точно воспроизводить заданную диэлектрическую проницаемость для Taconic TLY и TLX-ламинатов.

TacBond HT 1.5 не рекомендуется использовать, когда процесс прессования происходит при температуре выше 176 °С, как, например, при пайке горячим воздухом, а также для плат с последовательным прессованием.

Таблица 2. Преимущества пленки TacBond HT 1.5

Свойства	Преимущества
Полностью контролируемая точка плавления	Прогнозируемый цикл прессования
Диэлектрическая проницаемость 2,35	Небольшое воздействие на поверхность всего корпуса
Тангенс угла потерь 0,0025	Низкий уровень диэлектрических потерь
Химическая стабильность	Не подвержен воздействию стандартных химикатов

Таблица 3. Типичные свойства TacBond HT 1.5

Свойства	Преимущества
Полностью контролируемая точка плавления	Прогнозируемый цикл прессования
Диэлектрическая проницаемость 2,35	Небольшое воздействие на поверхность всего корпуса
Тангенс угла потерь 0,0025	Низкий уровень диэлектрических потерь
Химическая стабильность	Не подвержен воздействию стандартных химикатов

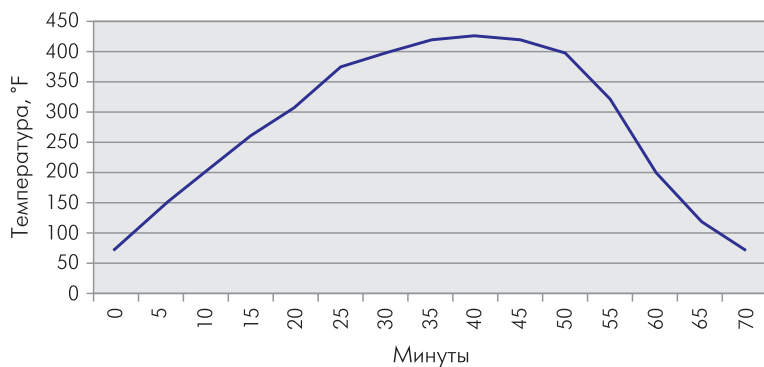


Рис. 3. Цикл склеивания для типичного HT 1.5

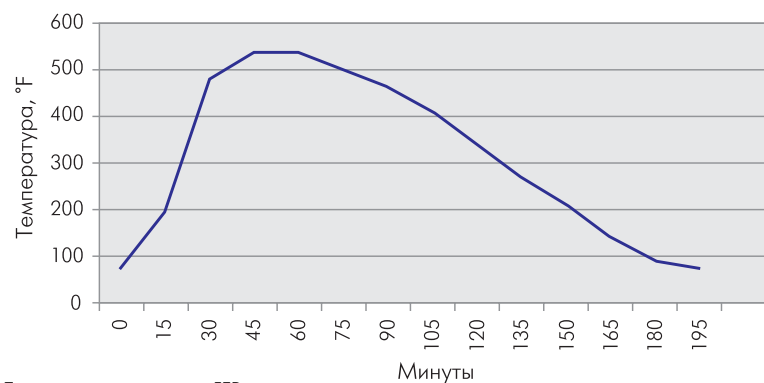


Рис. 4. Типичный цикл склеивания FEP

Прессование

Перед прессованием необходимо протравить внутренние слои, стараясь не задевать поверхности ПТФЭ после травления. Если необходима очистка медной поверхности, используйте химический процесс очистки. Прогрейте внутренние слои в течение 30 минут при температуре 105 °С, чтобы устранить любую возможную влагу с их поверхности. Поверхность соединяющей пленки TacBond HT 1.5 не нуждается в специальной подготовке, за исключением выполнения технологических отверстий и обработки торцов, если это необходимо. Разместите пресспакет с термопарой в середине между разгрузочными плитами. Положите этот пакет в холодный или горячий пресс, подвергните его давлению 7–14 бар и поддерживайте это давление в течение всего цикла. Контролируйте температуру пресспакета. Когда она достигнет 205 °С, поддерживайте температуру на уровне от 205 до 218 °С в течение 20 минут. Отключите нагрев и дайте остыть пресспакету до температуры приблизительно 150 °С перед быстрым охлаждением.

TacPreg TP-32

TacPreg TP-32 — это гибридный препрег, спроектированный специально для того, чтобы облегчить соединения RF-35, RF-35P, RF-35A и TacLam-ламинатов для многослойных плат.

ПТФЭ — материал с низкими потерями, который представляет собой керамическую основу, покрытую ВТ-эпоксидом. Он обла-

Таблица 4. Преимущества TacPreg TP-32

Свойства	Преимущества
ВТ-эпоксидное покрытие	Замечательно подходит для последовательного прессования. Позволяет создавать защитные слои при ламинировании схем
Диэлектрическая проницаемость	Уровень диэлектрической проницаемости подбирается
Диэлектрические потери	Низкие диэлектрические потери
Температура затвердевания 205 °С	Открывает большие возможности

Таблица 5. Типичные свойства TacPreg TP-32

Свойство	Значение	Метод измерения
Температура затвердевания	200 °С	
Диэлектрическая проницаемость	3,20	IPC TM 650 2.5.5.3
Рассеивание	0,0050	IPC TM 650 2.5.5.3
Поглощение воды	0,1%	IPC TM 650 2.6.2.1
Уровень воспламеняемости	V-0	UL 94

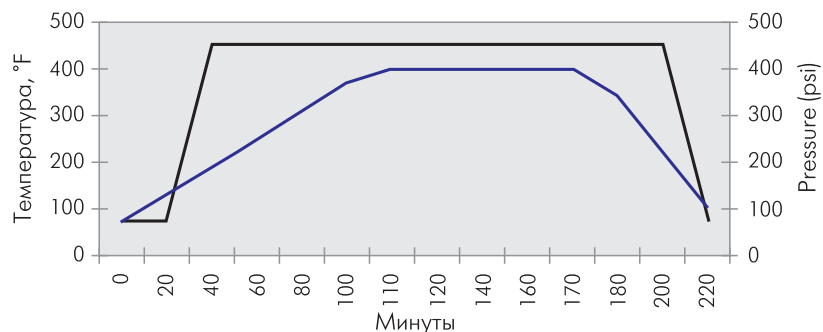


Рис. 5. Цикл соединения типичного TacPreg

дает отличными для термопластиков электрическими свойствами в сочетании со всеми преимуществами соединения термоактив-

ных полимеров, а также способностью точно подгонять диэлектрическую проницаемость препрега и ламината.

Прессование

Перед прессованием необходимо протравить внутренние слои, стараясь не затрагивать до поверхности ПТФЭ после травления. Если необходима последующая очистка медной поверхности, используйте химический процесс очистки.

Прогрейте внутренние слои в течение 30 минут при температуре 105 °С для того, чтобы устранить любую возможную влагу с поверхности. Поверхность соединяющей пленки TacPreg не нуждается в специальной подготовке, за исключением сверления технологических отверстий и обработки торцов, если это необходимо. Рекомендуется использовать пресс с вакуумной камерой. Положите пресспакет в холодный пресс, подвергните его давлению 5 бар и поддерживайте это давление до тех пор, пока температура пакета не достигнет 65 °С. В этот момент поднимите давление до 31 бар и поддерживайте его на этом уровне до конца цикла. Контролируйте температуру пресспакета. Когда она достигнет 200 °С, поддерживайте температуру на уровне от 200 до 218 °С в течение 60 минут. Отключите

нагрев и дайте остыть пресс-пакету до температуры приблизительно 150 °С перед быстрым охлаждением.