

Особенности бесштифтовой системы совмещения и прессования в производстве многослойных печатных плат

Хорошо известны преимущества бесштифтовых систем совмещения (MASS-LAM), и, тем не менее, некоторые особенности процесса, зачастую, остаются не освещенными в литературе.

Андрей Карасев

karasev@absolut.spb.ru

Сергей Гаврюхин

gsergey@absolut.spb.ru

Бесштифтовая система совмещения в производстве многослойных печатных плат (МПП), в отличие от распространенных в России систем базирования на штифтах (PIN-LAM), не использует базирование на штифтах и относится к системам совмещения типа MASS-LAM.

В процессе модернизации производства при сравнительном анализе возможностей и целесообразности приобретения оборудования, несомненно, необходимо применять как технологические, так и экономические критерии оценки. К конкурентным преимуществам рассматриваемой системы совмещения, относящейся к типу MASS-LAM, можно отнести следующие:

- отсутствие дорогостоящей оснастки и, следовательно, и всех обслуживающих операций (очистка, смазка, контроль размеров, замена), необходимых для системы совмещения PIN-LAM;
 - меньшая вероятность деформации внутренних слоев МПП за счет отсутствия базовых штифтов;
 - минимальный риск механического повреждения разделительных плит в процессе прессования, связанный с отсутствием в пакете металлических заклепок;
 - высокая точность совмещения, присущая системам совмещения типа MASS-LAM;
 - отсутствие жесткой привязки к размерам заготовки и пресс-формы, что позволяет работать с большей номенклатурой заказов;
 - максимально возможный (более 762×610 мм) размер заготовки МПП;
 - меньшие по сравнению с большинством систем PIN-LAM капиталовложения при модернизации производства, и существенно меньшие по сравнению с аналогичными системами MASS-LAM;
 - компьютерная обработка результатов измерения на всех этапах производства, позволяющая накапливать информацию и производить ее статистический анализ;
 - высокая производительность.
- В комплект оборудования входят:
- полуавтоматическая установка фотоэкспонирования с автоматическим оптическим совмещением (Automa-Tech AFOSA, Франция);

- установка сверления (пробивки) базовых отверстий для сборки МПП (Piergiacomì IPM 60, Италия);
- полуавтоматическая установка сборки пакета МПП методом точечной сварки (Piergiacomì АММ, Италия);
- полуавтоматическая установка сверления базовых отверстий с рентгеновским контролем (Piergiacomì XDM 30, Италия);
- вакуумный пресс (OEM Vac-Q-Lam, США);
- система контроля ошибок совмещения (PerfecTest, США).

Способен обеспечить высокую точность совмещения и большую гибкость. Оборудование соответствует современным требованиям, предъявляемым к системам совмещения в производстве МПП 5-го класса точности и выше, в чем нетрудно убедиться, проанализировав технические спецификации заводов-изготовителей и фактические результаты работы предприятий, использующих данное оборудование.

Очевидна общемировая тенденция к миниатюризации электронных изделий, перехода от простых МПП к более сложным конструкциям с интегрированными пассивными и даже активными компонентами. Таким образом, вопрос увеличения плотности проводящего рисунка и, как следствие, высокоточного совмещения слоев МПП в пределах двух десятков микрон по всей длине групповой заготовки встает особенно остро.

Оставляя за рамками данной статьи вопрос получения точного проводящего рисунка высокой плотности, остановимся подробнее на вопросе ошибки совмещения внутренних слоев МПП и технических решений, позволяющих минимизировать данную ошибку.

Многие российские предприятия при производстве МПП высокого класса точности с относительно небольшим количеством внутренних слоев уже неоднократно сталкивались с данной проблемой. Еще большую остроту эта проблема приобретает с увеличением класса точности, ростом числа слоев, увеличением размера групповой заготовки, использованием материалов с повышенной температурой стеклования, со сниженной стабильностью размеров (тетра- и мультифункциональные эпоксидные системы, полиимиды и т. д.) и применением в многослойной конструкции материалов с различными свойствами

(гибкие, гибко-жесткие, ВЧ- и СВЧ-применения и др.).

Причины ошибки совмещения достаточно хорошо изучены и могут быть сгруппированы в две принципиально разные группы:

1. Ошибки размеров — изменение размеров слоев или групповой заготовки по завершению цикла производства. Несколько факторов влияют на изменение линейных размеров слоев или препрега: главным образом, усадка-растяжение после травления и после прессования. Необходимая компенсация может быть достигнута за счет соответствующего масштабирования фотошаблонов. Следует отметить, что, несмотря на наличие теоретических данных о свойствах конкретного материала слоя (они даются многими производителями базовых материалов, например, ISOLA AG, ARLON и т. д.), фактическое поведение слоя зависит от ряда факторов, присущих данной конструкции и, разумеется, не учитываемых производителем материала. К таким факторам относятся, в частности, геометрия и площадь проводящего рисунка, тип и количество препрега, влияние соседних слоев, циклов прессования, условий работы и, наконец, применяемого оборудования. Используя грамотно организованную методику сбора и анализа фактической информации и учитывая все факторы, можно получить гораздо более предсказуемый результат, чем кажется с первого взгляда.

2. Ошибки смещения — изменение местоположения слоя внутри заготовки по отношению к номинальному положению. Данный вид ошибки, главным образом, связан с точностью механики и оснастки и имеет три составляющие:

а) Ошибки совмещения с двух сторон заготовки одного слоя. Возникают в процессе фотопечати или *прямого создания изображения (обратите внимание, новейшая технология прямого цифрового формирования изображения из CAD/CAM на фоторезисте, не получившая еще широкого распространения в России, тоже не исключает данную группу ошибок)*(рис. 1).

б) Ошибки совмещения слоев по отношению друг к другу.

в) Ошибки сверления отверстий в разных МПП из одной партии.

Ошибки смещения бывают:

- 1) систематическими — обычно корректируются подстройкой оборудования;
- 2) случайными, вызванными изношенной механикой или оснасткой, а также ошибками оператора.

Уникальное техническое решение, позволяющее мгновенно собирать информацию о фактических параметрах МПП по завершению производственного цикла, хранить ее, систематизировать, анализировать и принимать единственно верное решение, позволяющее минимизировать ошибку в рамках данной конструкции МПП и данного производства, представлено в системе контроля ошибок совмещения **PerfecTest**, разработанной компанией **American Testing Corporation** (США). Особенности данной системы, успешно эксплуатируемой в 22 странах мира, мы рассмотрим ниже.

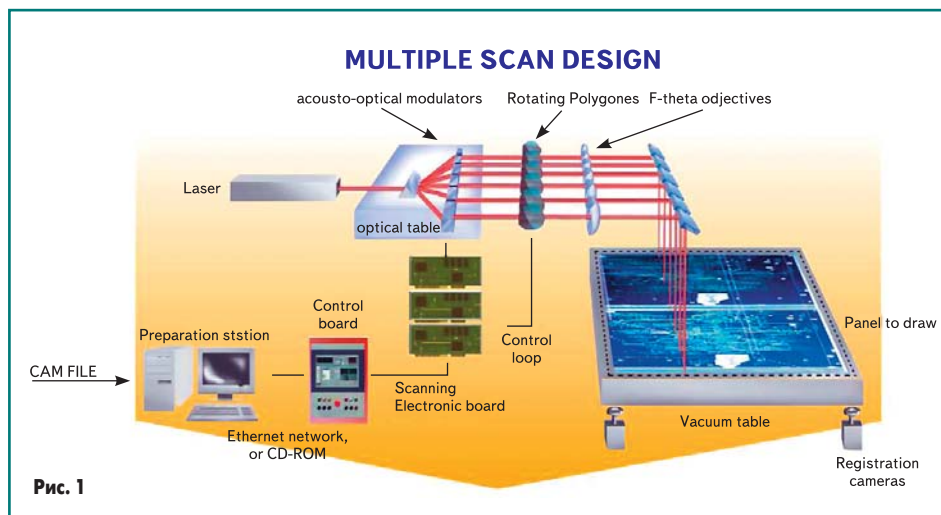


Рис. 1



Рис. 2

Начнем рассмотрение процесса производства МПП с работы полуавтоматической установки экспонирования **Automa-Tech AFOSA** (рис. 2) с оптической системой совмещения по отверстиям, реперным знакам или по лазерным микроотверстиям.

Нередко установки, аналогичные по своему назначению, и даже близкие по техническим параметрам, имеют принципиально различные технические решения внутри самой конструкции. Невозможность или нежелание получения и изучения дополнительной информации о конструктивных особенностях оборудования и используемых производителем решениях *до момента приобретения оборудования* приводит к знакомству с «норовом» установки уже *после ввода ее в эксплуатацию*, что в дальнейшем может существенно ограничить возможности производителя печатных плат. Какие же технические решения предлагает компания **Automa-Tech**?

За счет прецизионной механики установка **AFOSA** способна обеспечить позиционирование шаблонов относительно друг друга после вакуумирования с точностью +5 мкм и повторяемостью 3 мкм. Экспонирование осуществляется автоматически после повторной проверки точности взаимного совмещения фотошаблон/фотошаблон/заготовка. Для создания проводящего рисунка высокой точности не только **Automa-Tech**, но и многие другие производители используют так называемый «кол-

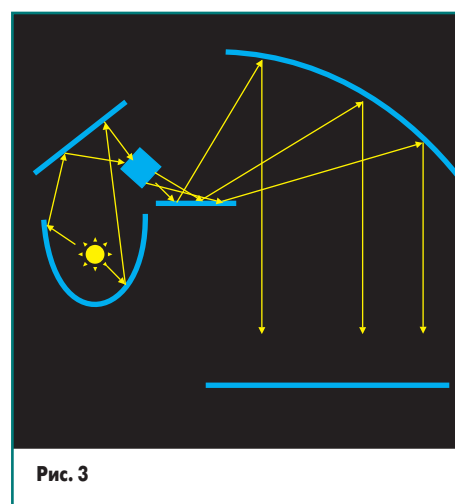


Рис. 3

лимированный» свет, то есть свет с параллельными лучами (рис. 3). В то же время термин «коллимированный» никоим образом не отражает количественную характеристику излучения. **Automa-Tech** использует высокоэффективные лампы производства **USHIO** (Япония) и оптическую систему с двумя блоками из 12 линз, позволяющую добиться исключительной параллельности лучей — менее 1,5° (рис. 4). Высокоточная механика обеспечивает отклонение от вертикали не более 1°.



Рис. 4

Параллельные лучи не только создают высокоточное изображение, с ними каждая пылинка становится врагом. Для исключения появления пыли в системе отсутствуют любые ее источники — используется нержавеющая сталь, бесщеточные моторы, нет приводных ремней и др. Рабочая зона снабжается воздухом через НЕРА-фильтр класса 100 и находится под избыточным давлением. Независимые замкнутые контуры охлаждения лампы и рам экспонирования позволяют добиться неизменной температуры фотошаблона во время рабочего цикла (датчик температуры интегрирован прямо в стекло рамы), предотвращая изменение линейных размеров фотошаблона. В свою очередь, фиксация фотошаблонов к стеклу обеспечивается вакуумом без использования майларовой пленки, поглощающей энергию УФ-излучения. Позиционирование — оптическое, бесштифтовое. При позиционировании заготовка фиксируется, а регулируемый уровень вакуума и новая система уплотнений позволяют не повредить шаблоны о заготовку и, в то же время, точно произвести их позиционирование. Кроме того, система имеет современное программное обеспечение (рис. 5), позволяющее собирать в реальном времени данные по процессу, хранить и проводить их статистический анализ для своевременного контроля и управления. Управление посредством дружественного графического интерфейса на сенсорном ЖК-экране удобно и понятно.



Рис. 5

После экспонирования слои МПП последовательно проходят операции проявления и травления, а затем поступают на установку сверления (пробивки) базовых отверстий **Piergiacomì IPM 60** (рис. 6). Известно, что базовые отверстия в слоях толщиной менее 0,2 мм удобнее и точнее пробивать, в то время как в более толстых — сверлить. Уникальность установки IPM 60 заключается в том, что в комплектации PD она может производить как пробивку, так и сверление баз (рис. 7). В полуавтоматическом режиме с помощью прецизионной системы машинного зрения на установке замеряется расстояние между вытравленными реперными знаками и, после усреднения погрешностей на основе программно заданного алгоритма обработки, формируются два базовых и, при необходимости, одно контрольное отверстие, служащее для ориентации слоя при сборке в заготовку МПП. Процесс поиска оптимизированного положения



Рис. 6

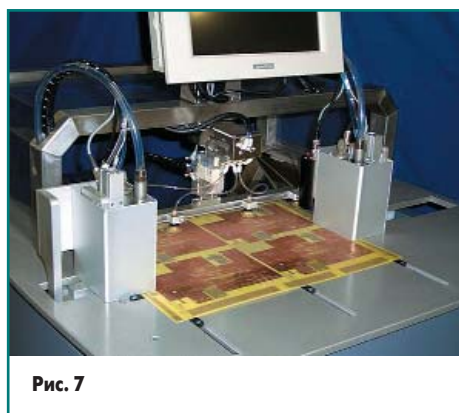


Рис. 7

базовых отверстий отображается на ЖК-дисплее. Массивное неподвижное основание, линейная измерительная система с точностью 1 мкм и прецизионная система приводов с шагом 1 мкм позволяют добиться высокой суммарной точности базовых отверстий для сборки пакета заготовки МПП. Фактические данные, полученные от измерительной системы, хранятся в блоке памяти установки и могут быть обработаны и проанализированы для выявления и статистического анализа ошибок, накопленных к данному моменту.

На полуавтоматической установке сборки пакета МПП **Piergiacomì AMM** (рис. 8) слои МПП, переложённые препрегом, совмещаются



Рис. 8

на цилиндрических штифтах по двум базовым и одному контрольному отверстиям и после прижима скрепляются в пакет методом точечной сварки. Сварка осуществляется с помощью вызывающих местную (локальную) полимеризацию препрега нагретых стержней — по 8 стержней на каждой длинной стороне пакета. Установка расстояния между рамками со стержнями и извлечение скрепленной заготовки МПП на установке **AMM 20** производится в автоматическом режиме. Для автоматизации операции комплектования слоев в пакеты МПП и подачи их на загрузочный стол **AMM** служит устройство подачи слоев на сборку МПП **Piergiacomì DAL**. Выдвижные лотки устройства открываются строго в запрограммированном порядке, чем полностью исключается вероятность возникновения ошибки укладки не того слоя или типа препрега.

После скрепления слоев заготовка поступает в пресс, где операция прессования проходит без применения специализированных пресс-форм и штифтов (применяемых в системах PIN-LAM).

Несмотря на тот факт, что современные высококачественные материалы на несложных изделиях «прощают» значительные огрехи в технологическом процессе, постоянное усложнение продукции заставляет задуматься о таком немаловажном факторе, как техническое обеспечение операции прессования. Как известно, для получения качественного изделия, соответствующего стандартам, необходимо избавиться от воздушных пузырей и влаги в изделии до того, как оно спрессовано и связующее полимеризовано. Наличие вакуумной камеры у прессы гарантирует удаление значительной части воздуха и влаги из заготовки (даже материалы типа FR-4/Tg140 весьма гигроскопичны, не говоря уже об оксидированной поверхности, материалах FR-5 с более высокой температурой стеклования и полиимидах). Какие же требования предъявляются к прессам, помимо возможности вакуумирования, с целью получения качественных и точных изделий? В первую очередь, это возможность управляемо и равномерно сжимать и нагревать изделие, по возможности, имея обратную связь для контроля процесса.

Рассмотрим, какие решения предусмотрены в прессах марки **OEM Vac-Q-Lam** (рис. 9).



Рис. 9

Поскольку вакуумной камерой с давних пор оборудовались обычные атмосферные прессы, многие из них не претерпели значительных изменений. Камеры были лишь загерметизированы и оборудованы устройством, создающим разрежение. Очень часто направляющие пресс-плит закреплены на стенках камеры и пребывают под воздействием атмосферного давления снаружи во время цикла прессования. В результате может образоваться перекос плит и, соответственно, неравномерность толщины изделия в различных точках, а также возникновение усилий, смещающих внутренние слои относительно друг друга (рис. 10). Разница в давлении от центра к краю характерна для большинства систем с одним главным цилиндром, даже при наличии высокопрочной толстой пресс-плиты, имеющей максимальную прочность на изгиб (рис. 11). Неравномерность обусловлена самим техническим решением — поршень давит сильнее в центр, плита прогибается — давление по краям меньше, чем в центре. Характерно техническое решение с двумя гидравлическими цилиндрами, выполняющими различные функции: один сжимает, другой разжимает. Очевидно, что в таком случае точное, а главное, оперативное управление прилагаемым давлением становится невозможно. Учитывая все вышесказанное, компания OEM разработала вакуумный пресс, свободный от упомянутых недостатков. Основу конструкции составляет система из четырех независимых гидравлических цилиндров, связанных общей рамкой, что гарантирует одинаковое давление в каждом из них и по всей поверхности пресс-плиты, а следовательно, и заготовки. Направляющие пресс-плит не связаны со стенками вакуумной камеры, и система напоминает конструкцию независимой подвески автомобиля. Приводящие цилиндры — двойного (прямого и обратного) действия, то есть могут как сжиматься, так и разжиматься (рис. 12). Очевидно, что данная конструкция содержит все необходимые предпосылки для получения высококачественного результата.

Нельзя не упомянуть и о некоторых других особенностях системы **Vac-Q-Lam**, опосредованно влияющих на качество готового изделия. Как известно, технология прессования современных материалов подразумевает учет такого важного фактора, как изменение фактической температуры изделия во времени. Большинство производителей МПП вынуждено проводить эксперименты для измерения скорости нарастания температуры внутри заготовки, определять время приложения каждой последующей ступени давления через ряд косвенных данных, таких как температура пресс-плиты. Система **Vac-Q-Lam** благодаря применению выносных термопар, устанавливаемых прямо в заготовку, и системы управления **Advantage** (рис. 13) позволяет программировать и контролировать температуру нагрева, давление прижима, уровень вакуумирования и скорость их изменения в режиме реального времени по фактическим показаниям термопар и датчиков. Уже ставшие стандартными такие функции, как сбор, хранение, систематизация и анализ фактических

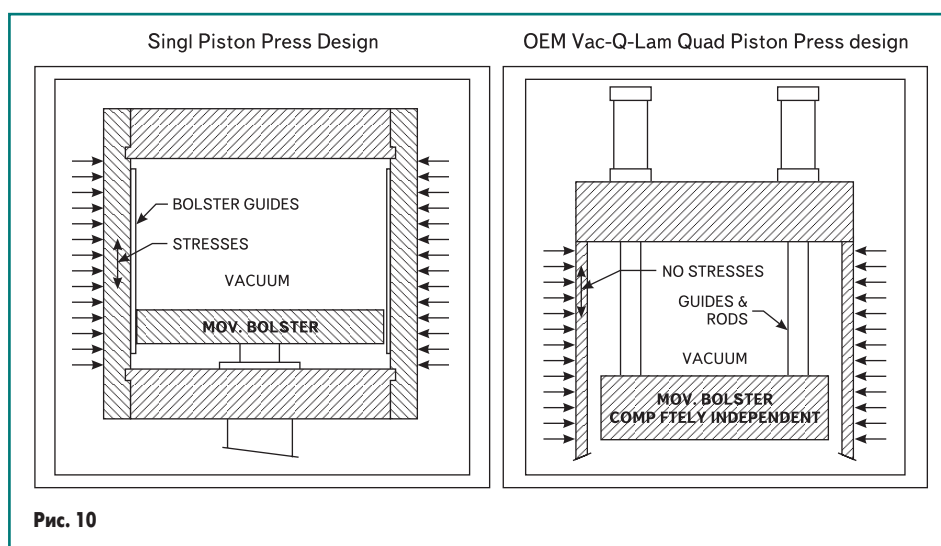


Рис. 10

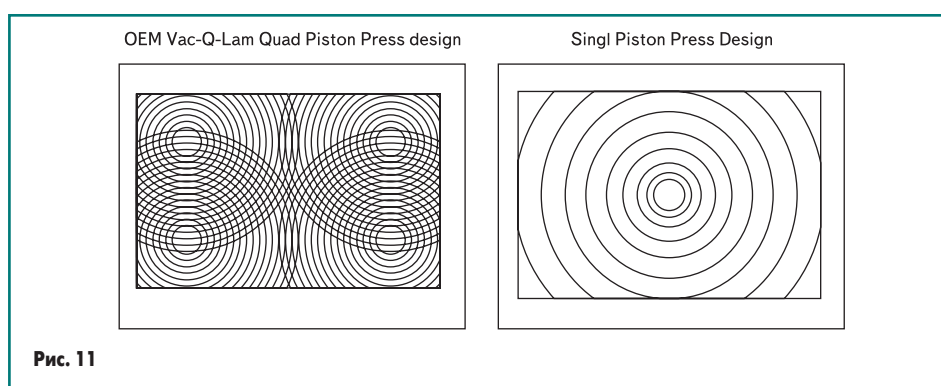


Рис. 11

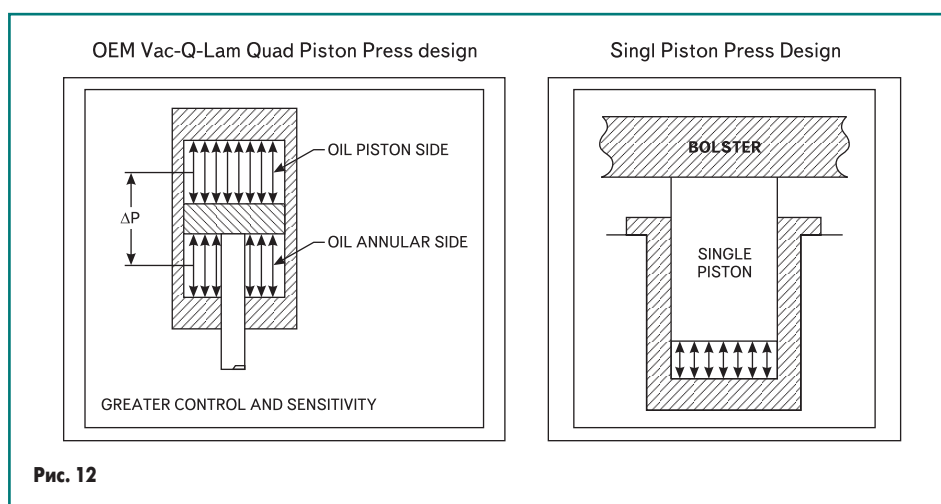


Рис. 12

данных, доступ по локальной сети и т. д., безусловно, присутствуют и в данной системе. Нельзя не отметить и того факта, что ряд конструкций прессов типа **Vac-Q-Lam** по габаритам существенно меньше изделий конкурентов, не требуют специального фундамента, имеет небольшую общую и погрузочную высоту (рис. 14). Автоматизация и механизация процесса погрузки-разгрузки заготовок также предусмотрена и широко применяется на большинстве предприятий во всем мире (рис. 15).

Следующим этапом после прессования является центрирование баз и сверление базовых отверстий, необходимых для последующих операций сверления и фотолитографии внешних слоев в заготовке МПП. Для этой цели служит полуавтоматическая установка сверления базовых (технологических) отверстий в спрес-

сованной МПП **Piergiacomini XDM 30** с рентгеновским контролем (рис. 16). Установка предназначена для измерения и программного усреднения расстояния между реперными знаками с помощью цифровых CCD-камер и двух рентгеновских трубок по всем слоям одновременно в соответствии с заданным алгоритмом оптимизации. При этом взаимное расположение двух шпинделей контролируется оптической линейкой с разрешением 1 мкм и с повторяемостью 3 мкм. Механизмы перемещения снабжены бесколлекторными двигателями и преднагруженными шаро-винтовыми передачами, позволяющими проводить перемещение с шагом 1 мкм. **XDM 30** способна находить и распознавать реперные знаки и сверлить базовые отверстия менее чем за 8 с с производительностью 5–6 заготовок в минуту.

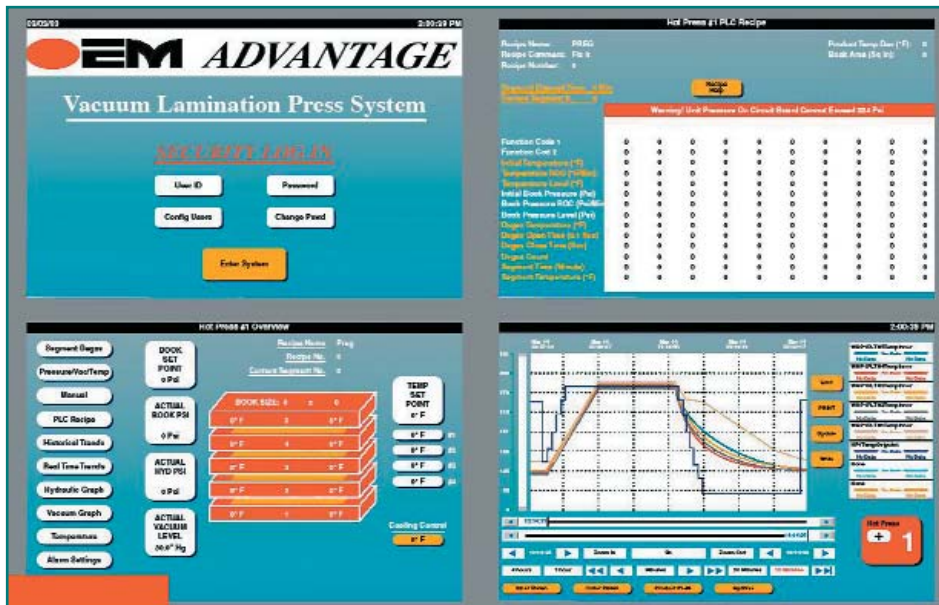


Рис. 13



Рис. 14



Рис. 15



Рис. 16



Рис. 18



Рис. 17

Применение установки с рентгеновским контролем позволяет исключить такую трудоемкую операцию, как механическое вскрытие ре-

перных знаков в заготовке МПП после пресования. Установка имеет стальную рамную конструкцию с экранирующим корпусом

(рис. 17) и снабжена цветным сенсорным ЖК-дисплеем с разрешением 1024×768. Программное обеспечение этой установки тоже позволяет хранить и систематизировать данные о результатах измерений и оптимизации для последующего анализа. Модель XDM 30 является последней разработкой компании Piergiacomì, и ее представление широкой аудитории производителей печатных плат состоялось в ноябре 2005 года на выставке Productronica 2005 в Германии.

По завершении цикла производства МПП целесообразно провести необходимые измерения и получить фактические данные о качестве базирования (комплексной ошибке сов-

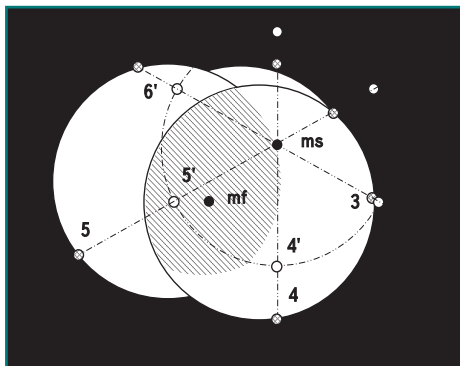


Рис. 19

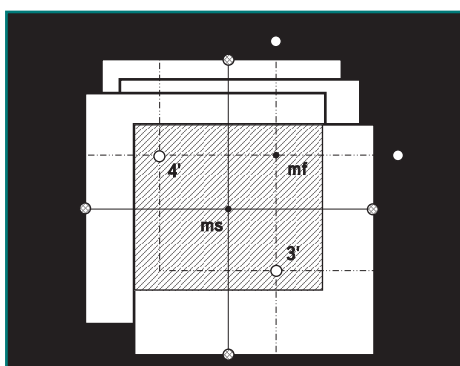


Рис. 20

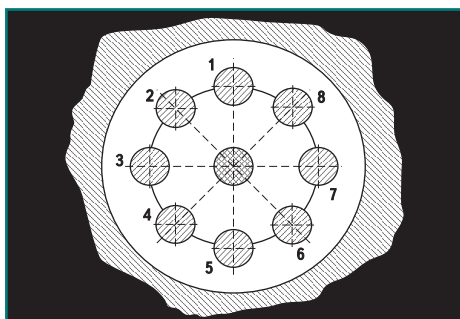


Рис. 21

мещения). В настоящее время существует ряд методик сбора фактической информации, разрушающих и не разрушающих готовое изделие: послойное вскрытие МПП с последую-

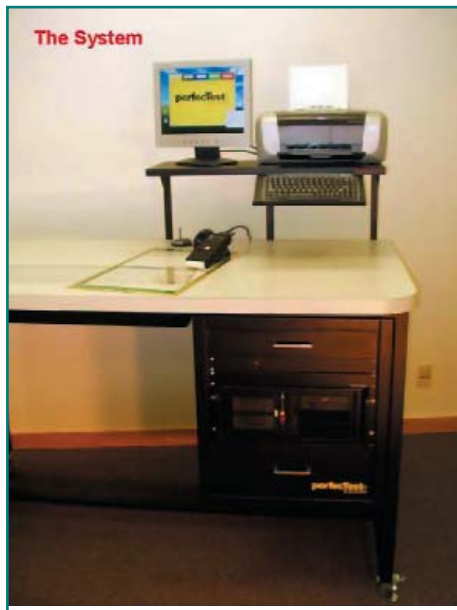
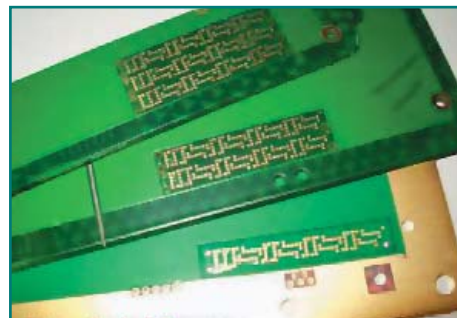


Рис. 22

щим замером фактического местоположения реперных знаков, работа с цифровыми образами, полученными в рентгеновском излучении. Вышла из стадии разработки и комбинированная технология: точный замер местоположения реперных знаков с помощью рентгеновского микрофокусированного излучения и многовариантная оптимизация программы сверления на основании фактических данных об ошибке совмещения (рис. 19, 20, 21). Альтернативная технология предложена американской компанией **American Testing Corporation** в системе **PerfectTest** (рис. 22).

Данная неразрушающая методика основана на создании специальных тестовых купонов по углам групповой заготовки на всех слоях МПП. После прохождения всех этапов технологического процесса к этим купонам (рис. 23) на внешних слоях заготовки прикладывается специальный зонд (рис. 24), мгновенно считывающий информацию с них и записывающий ее в память ПК. Операция повторяется для всех купонов на заготовке, при этом достигается производительность 6 заготовок в минуту (сравните с технологией механического вскрытия реперных знаков и по-



The patented Coupon

Рис. 23



The Probe

Рис. 24

следующего замера расстояний с использованием системы машинного зрения). Установка ограничена лишь максимумом в 50 слоев в одной заготовке МПП и никоим образом не зависит ни от размера заготовки, ни от ее конструкции, ни от материалов, а следовательно, особенно удобна для современного многономенклатурного производства (рис. 25). На основе данных, полученных с купонов, составляется карта ошибок совмещения, они группируются по видовым признакам, внутренние слои и их взаимное расположение визуализируются, указывается значение, характер и место возникновения максимальной ошибки совмещения, вычисляются коэффициенты масштабирования, рекомендуемые для минимизации ошибки (рис. 26). Максимально упрощается процесс анализа данных, определения причин возникновения ошибок совмещения и выработка методик их минимизации.

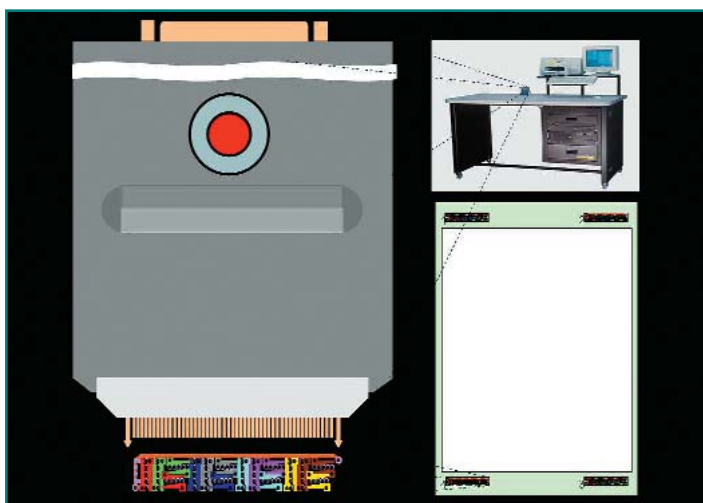


Рис. 25

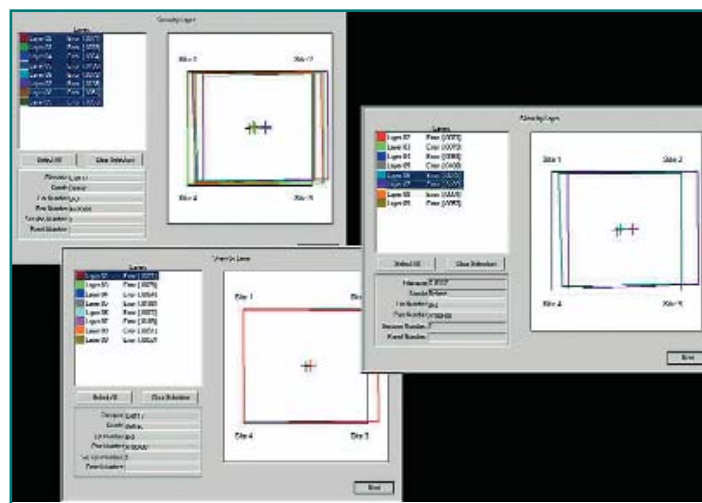


Рис. 26

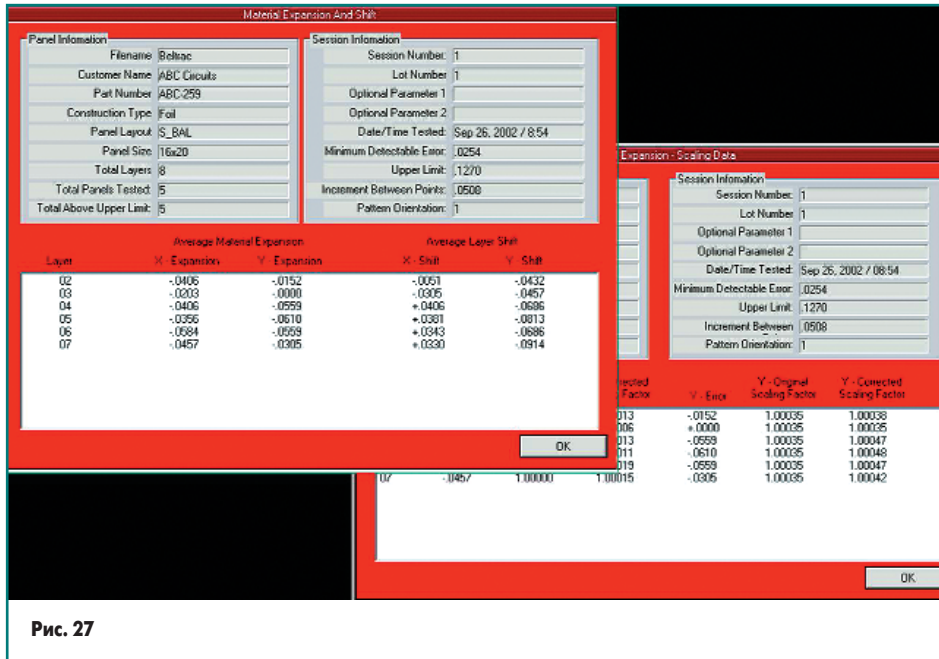


Рис. 27

Разумеется, данные могут быть представлены в различном формате, доступ к ним возможен в том числе и через ЛВС (рис. 27).

Еще раз обратим внимание на тот факт, что сбор данных об ошибках совмещения происходит после сверления переходных отверстий. Таким образом, учитываются все факторы, ответственные за ошибки совмещения. Наличие подобных данных позволяет разработчику и технологу оптимизировать процесс даже для сложнейших экзотических изделий, включа-

ющих, например, лазерные микроотверстия, аддитивные процессы, последовательное прессование, гибко-жесткие многослойные конструкции и т. д., основываясь на фактических данных, а не на предположениях.

В заключение отметим, что применение даже некоторых единиц из представленного комплекта оборудования позволит существенно повысить точность совмещения слоев МПП. Кроме того, к несомненным достоинствам данного комплекта оборудования относится возмож-

ность его применения как в бесштифтовой системе совмещения MASS-LAM, так и в любой системе совмещения типа PIN-LAM.

Литература

1. Mechanical machining processes in printed circuit manufacture — a renaissance? // Circuitree Sep/2004
2. Bohren und Frasen — das Multitalent // Liederplatten. 2005. № 2–3.
3. Техническая информация компании Schmolz Maschinen.
4. Медведев А. М. Технология производства печатных плат // М.: Техносфера. 2005.
5. www.circuitree.com
6. www.pcb007.com
7. Медведев А. М. Обновление технологий в российской электронной промышленности // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 1–2.
8. Галецкий Ф. П. Печатный монтаж — задача государственная // Электроника НТБ. 2004. № 2.
9. Техническая информация компании Cedal
10. ГОСТ 23661-79 «Платы печатные многослойные. Требования к типовому технологическому процессу прессования»
11. Будневич М. И. Технологическая подготовка производства печатных плат // Электроника НТБ. 2004. № 5.
12. Новокрещенов С. Коробление многослойных печатных плат. // Электронные компоненты. 2004. № 2.