



Системы совмещения

Часть II. «Тень на плетень», или О том, как нас ведут в 5-й класс

Время летит быстро, не прошло и трех лет, как споры среди российских производителей многослойных печатных плат перешли из канвы «что лучше, PIN-LAM (ламинирование собранного пакета на штифтах) или MAS-LAM (ламинирование собранного пакета без штифтов)» в канву «каким характеристикам технологического процесса придать большее значение».

Петр Семенов

semenov@elserv.ru

Несмотря на то что некоторые юридические лица, ведущие хозяйственную деятельность на территории РФ и являющиеся противниками MAS-LAM, резко сменили свою ориентацию и сегодня поддерживают этот процесс, стоит все же разобраться в причинах успеха MAS-LAM в мире и перспективах использования предлагаемых комплектов оборудования. При этом сегодня PIN-LAM-технология используется вполне успешно. В чем причина? Может быть, опять с трибуны все будет хорошо, а на деле — не очень?

К сожалению, в большинстве случаев поставки систем совмещения для изготовления МПП на территорию Российской Федерации происходили по классической маркетинговой схеме «отъема денег у населения» при поставке товаров ТНП — сначала малотехнологичное оборудование, существенно не влияющее на результат, но при этом имеющее приличную стоимость. После этого следовало предложение более прогрессивного оборудования, но с ограничениями по точности, существенно влияющими на возможности производства. Типичная стратегия зарубежного маркетолога. А сегодня предлагают лекарство от того, что было куплено вчера и позавчера? Чего ждать от затянувшейся терапии? Может, опять мы теряем деньги и время, и наша оборонка будет «отдыхать», пока «Америка и другие будут наживаться на нас, продавая оборудование, дающее им фору по отношению к нам на рынке технологий и вооружений? И это понятно. Кому нужна конкурентоспособная промышленность в России? Америке, Европе или Юго-Восточной Азии? Или это просто торговля — один продал, другой купил то, во что поверил?

Выходит, опять придется разбираться в этом вопросе — и не иностранным представителям, а рядовому начальнику цеха при помощи всемогущего единственного технолога, на которого «повесили» все.

**Действие I. Три года спустя. Завод.
Конец месяца. Оперативное совещание**

Начальник цеха: Где эти «многослойки», почему не сдали?

Технолог: Рассовмещение контактных площадок и отверстий. Платы ведь сложные!

Начальник цеха: Ничего не понимаю, и директор ничего не поймет! Мы два года назад купили светокопировальную раму с автоматическим совмещением не хуже ± 25 мкм, угробили массу денег, потом я собственными глазами видел, как китайцы у себя под нашим микроскопом «МБС-8» заготовку с просверленными отверстиями по реперным знакам с фотошаблонами совмещали и делали это очень успешно на больших форматах заготовки, ведь 25 мкм — это 2 деления микроскопа.

В этом году купили сборку пакета с оптическим совмещением с точностью укладки слоев при сборке ± 17 мкм. В чем проблема??? Вы что, хотите, чтоб нас всех разогнали? На четырехслотовой у вас не получается, на новых не получается, может, в вас проблема? Нам персонал 10 раз поменять дешевле обойдется!

Технолог: Во-первых, я один остался, к вам никто работать не пойдет! Во вторых, оптическое совмещение помогло, но не на всех заготовках. Мы выбрали установку, которая работает только на некоробленных заготовках, а на коробленных, которые проходят по ГОСТу — не работает!

Потом выяснилось, что пакет МПП после прессовки дает усадку, и притом порой больше, чем изменение фотошаблона при экспонировании.

Начальник цеха: А что коробление, ведь на четырехслотовой нас проблема коробления не так часто мучила? Что, лучше не стало?

Технолог: Так при прессовке на штифтах у нас отверстия были овальные, слои давали разную усадку



Рис. 1

без сопротивления пакета, мы это видели по микрошлифам. Там, где отверстия были не овалы, материал размягчался при температуре прессования, и его тоже сила усадки сдвигала. Теперь пакет спеканием закреплен, и что там, какой слой удержится, какой оторвется и даст свою локальную усадку, или в напряжении останется, я не знаю. А может, я не прав.

Начальник цеха: Теперь я понял, почему у китайцев я видел и штифтовые системы, и термобондинг.

Что, нет универсального метода, чтоб и без штифтов прессовать, и усадка была для каждого слоя — экранного и сигнального — своя? А как быть с гибко-жесткими платами, ведь полиимид вообще другую усадку имеет, и еще тонкий — плывет!

Технолог: Вот и я думаю: хотели как лучше, а получилось как всегда!

Начальник цеха: А ты не думай, а ты посчитай точность комплекта в сумме по процессу, который нам поставили, и проверь по ГОСТу, что нам требуется. ГОСТ для чего написан? Для проформы, что ли? Даже формула на стр. 11 есть.

И вообще, я не понял, с трибуны рекламировали иностранцы, поставляли оборудование наши, а ГОСТ теперь читаем мы вдвоем?

Значит так. Первое. Тебе неделя по паспортным или рекламным данным оборудования просчитать точность всего процесса с учетом усадки. Проверь предложения конструкторов для сравнения.

Второе. Просчитать точность комплекта оборудования, которая требуется по ГОСТ 23751-86.

Вот и сделаем потом выводы, может, мы работать не умеем, почему мы читаем теперь ГОСТ, а не сдаем продукцию, почему оборудование соответствует паспортным данным, а прецизионных МПП нет. Где обещанный с трибуны 5-й класс?

Неделя тебе сроку.

От автора. Вполне вероятно, что и у вас рабочий день начался таким же диалогом, может, с другим процессом, с другими действующими лицами. Поэтому мы разберем этот гипотетический случай с абстрактным оборудованием с заданными параметрами и сравним с реальным комплектом от швейцарской фирмы PRINPROCESS AG.

Хватит смотреть картинки в рекламных буклетах. Запасайтесь калькуляторами и вначале считайте.

Нервных и нетерпеливых просим не считать и не читать.

Итак, принимаем стоимость комплектов оборудования с учетом восьми комплектов прессформ одинаковой. Договоримся, что оборудование отвечает заявленным характеристикам.

Комплект оборудования № 1.

Итак, завод имеет вымышленный комплект оборудования от разных производителей в следующем составе:

1. Установка ручной сборки пакета МПП с помощью 4 видеокамер и термобондирования. Точность совмещения 17 мкм.



Рис. 2

2. Рентгеновская установка формирования базовых отверстий после ламинирования. Точность позиционирования базовых отверстий не хуже 25 мкм.

3. Автоматическая установка экспонирования с 4 видеокамерами с типичной компоновкой рамы (процесс совмещения происходит вне зоны экспонирования). Точность совмещения фотошаблона и заготовки — 25 мкм.

Комплект оборудования № 2.

Комплект от швейцарской фирмы PRINPROCESS AG.

1. TARGOMAT III (рис. 1). Автоматическая установка прецизионного измерения масштаба, формирования базовых отверстий в слоях, в ламинированной заготовке и анализа рассовмещения слоев.

Разрешение измерительной системы 0,2 мкм. Точность позиционирования отверстий 7–8 мкм.

Демонстрация точности выполненной операции.

2. RIVOLINO (рис. 2). Установка скрепления пакета МПП с помощью заклепок.

Максимальный сдвиг в собранном пакете — не более 20 мкм (автоматический режим скрепления).

3. EXPOMAT II (рис. 3). Автоматическая установка экспонирования внутренних слоев, внешних слоев, маски со сменными кассетами на разный формат фотошаблонов (совмещение в зоне экспонирования). Точность совмещения 5 мкм.



Рис. 3



Рис. 4

Таблица 1. Характеристика комплектов по операциям

Операция	Оборудование Сборный комплект	Точность, мкм	Оборудование PRINTPROCESS AG	Точность (паспортная), мкм
Измерение масштаба фотошаблона			TARGOMAT III	2
Измерение масштаба слоев после травления			TARGOMAT III	2
Селективная раскладка заготовок слоев по масштабу при необходимости			TARGOMAT III	2
Сверление базовых отверстий в слоях	Не требуется		TARGOMAT III	7
Сборка пакета	Установка ручной сборки пакета с 4 видеокамерами	17	RIVOLINO	20
Формирование базовых отверстий в ламинированной МПП	Рентген	25–30	TARGOMAT III	7
Измерение усадки и смещения слоев с выдачей параметров послойно	Рентген ?	?	TARGOMAT III	2
Экспонирование	Автомат традиционный	25	EXPOMAT II	5
Восстановление размеров фотошаблона после деформации (релакс)	?		EXPOMAT II (автоматически)	
Возможность автоматического совмещения фотошаблона с заготовкой без экспонирующей установки	Нет		TARGOMAT III	10
Статистический отчет при сборке пакета с сортировкой слоев по группам. Выдача коэффициента усадки для проектирования фотошаблона	?		TARGOMAT III	

Демонстрация точности выполненной операции.

4. Установка фрезеровки фольги TARGOMILL (рис. 4; в совмещении не участвует).

Для расчета прогнозируемой точности комплектов мы должны установить значение дополнительных факторов, оказывающих влияние на рассовмещение.

Принимаем следующие значения дополнительных факторов обоих комплектов для размера заготовки 305×457 мм [1]:

- Изменение размера фильма по диагонали при изменении влажности ±5% и температуры ±1 °С — ±28 мкм*.
- Изменение размера фильма при экспонировании — ±105 мкм*.
- Усадка слоев при травлении (макс.) — ±50 мкм*.
- Изменение размеров пакета МПП при прессовании — ±145 мкм*.
- Точность сверления на сверлильном станке с учетом разницы координат входа и выхода сверла из пакета — ±30 мкм*.

Расчет прогнозируемой точности комплектов

Рассчитываем прогнозируемую точность по стандартным формулам. Отклонение до установки на сверлильный станок вычислим по формуле:

$$A = \sqrt{\Phi_k^2 + \Phi_\varepsilon^2 + \varepsilon_c^2 + T_c^2 + C_c^2 + P^2}.$$

Отклонение после установки на сверлильный станок:

$$B = \sqrt{B_o^2 + C_b^2 + \varepsilon_b^2 + \Phi_\varepsilon^2 + \Phi_k^2}.$$

Суммарное отклонение комплекта оборудования в реальных условиях:

$$\Sigma = \sqrt{A^2 + B^2}.$$

Здесь:

- Φ_k — клим. усадка фильма слоя.
- Φ_ε — усадка фильма при экспонировании.
- ε_c — точность экспонирования слоев.
- T_c — усадка слоя после травления и подготовки под ламинирование.
- C_c — точность сборки пакета.
- P — усадка при прессовании (смещение).
- B_o — точность позиционирования базовых отверстий в пакете МПП.
- C_b — точность сверления.
- ε_b — точность экспонирования внешних слоев.

Подставляя значения из таблицы 1 в вышеуказанные формулы и учитывая дополнительные факторы, получаем точность для «Сборного комплекта»:

$$A = \sqrt{(28/2)^2 + (105/2)^2 + 25^2 + (50/2)^2 + (17/2)^2 + (145/2)^2} = \\ = \sqrt{196 + 2756,25 + 625 + 625 + 72,25 + 5256,25} = \pm 97,62 \text{ мкм.}$$

$$B = \sqrt{25^2 + 30^2 + 25^2 + (105/2)^2 + (28/2)^2} = \\ = \sqrt{(625 + 900 + 625 + 2756,25 + 196)} = \pm 71,43 \text{ мкм.}$$

$$\Sigma = \sqrt{97,62^2 + 71,43^2} = \sqrt{9529,66 + 5102,24} = \pm 120,96 \text{ мкм.}$$

Для комплекта PRINTPROCESS AG по аналогии получаем:

$$A = \sqrt{(28/2)^2 + (105/2)^2 + 5^2 + (50/2)^2 + (20/2)^2 + (145/2)^2} = \\ = \sqrt{196 + 2756,25 + 25 + 625 + 400 + 5256,25} = \pm 96,22 \text{ мкм.}$$

$$B = \sqrt{7^2 + 30^2 + 10^2 + (105/2)^2 + (28/2)^2} = \\ = \sqrt{49 + 900 + 100 + 2756,25 + 196} = \pm 63,25 \text{ мкм.}$$

$$\Sigma = \sqrt{96,22^2 + 63,25^2} = \sqrt{9258,29 + 4000,56} = \pm 115,15 \text{ мкм.}$$

Итак, мы получили точность комплектов систем совмещения для заготовки 305×457 мм в первой итерации без использования всех вложенных функций:

- для «Сборного комплекта» = ±121 мкм;
- для «PRINTPROCESS AG» = ±115 мкм.

Удовлетворяют ли рассматриваемые комплекты оборудования требованиям ГОСТ 23751-86, стр. 11?

Расчет точности комплекта оборудования, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 23751-86

Рассчитаем согласно ГОСТ 23751-86, стр. 11, наименьший номинальный диаметр D контактной площадки по формуле:

$$D = (d + \Delta d_{b.o.}) + 2b + \Delta t_{b.o.} + 2\Delta d_{np} + \sqrt{(Td^2 + TD^2 + \Delta t_{п.о.}^2)}.$$

Таблица 2

Название	Значение	Обозначение
Диаметр отверстия (выбран для примера)*	0,3*	d
Верхнее предельное отклонение диаметра отверстия	0	$\Delta d_{в.о.}$
Минимальное значение гарантированного пояса	0,025	b
Верхнее предельное отклонение контактной площадки	0,03	$\Delta t_{в.о.}$
Значение подравливания диэлектрика в отверстии	0,03	$\Delta t_{пр}$
Позиционный допуск расположения осей отверстий	0,1	T_d
Позиционный допуск расположения центров контактных площадок	0,15	T_D
Нижнее предельное отклонение диаметра контактной площадки	0,03	$\Delta t_{п.о.}$

Здесь, согласно ГОСТ 23751 для размера заготовки 305×457 мм величины в формуле имеют значения, указанные в таблице 2 (диаметр отверстия выбран произвольно).

Подставляем значения таблицы 2 в формулу и получаем для размера заготовки 305×457 мм 5-го класса точности и диаметра отверстия $d = 0,3$, что наименьший номинальный диаметр D контактной площадки равен:

$$D = (0,3 + 0) + 2 \times 0,025 + 0,03 + 2 \times 0,03 + \sqrt{(0,1^2 + 0,15^2 + 0,03^2)} = 0,44 + \sqrt{0,0334} = 0,622 \text{ мм.}$$

Округляя, получаем $D = 0,62$ мм.

Пока это значение нам не понадобится, и Америку мы здесь не открыли, но вот формула нам нужна и требует анализа.

В левой части формулы стоят величины, которые задаются в конструкторской документации, и величины, связанные с химической обработкой. Они не имеют отношения к инструментальной системе совмещения и технологии совмещения на всех этапах. В правой части формулы (под корнем) находятся величины, имеющие непосредственное отношение к комплекту системы совмещения. Это все погрешности, связанные с усадкой материалов, фотошаблона, точность выполнения операций и т. д.

Так что $\sqrt{0,0334} = 0,182$ мм — это та прибавка, на которую увеличивается диаметр контактной площадки из-за несовершенства процесса и оборудования, связанного с совмещением топологии схемы. Тогда необходимая точность комплекта оборудования, обеспечивающая допуск для заготовки 305×457 мм, равна 0,182/2 мм (то есть ±91,5 мкм).

Результат: Комплект оборудования для совмещения, включая технологический процесс, должен обладать точностью ±0,092 мм (±92 мкм) для удовлетворения требований ГОСТ 23751-86, 5-й класс точности, для размера заготовки 305×457 мм. Но мы имеем в первой итерации:

- для «Сборной системы» ±121 мкм;
- для PRINTPROCESS AG ±115 мкм.

Действие II. Кабинет начальника цеха. Неделю спустя

Технолог: Шеф! Я посчитал, может, ошибся, но, похоже, нам хана!

Вот смотрите, расчеты на наш комплект оборудования и комплект швейцарской фирмы PRINTPROCESS AG.

Получается, что на заготовке размером 305×457 мм вообще с нормальным выходом годных платы 5-го класса делать нельзя. Нам не хватает 38 мкм точности комплекта, а это больше гарантийного пояса почти на 50%. Надо учитывать усадку слоев, притом вести контроль по типу материала, схемы (площади фольги) и толщине, и изготавливать в разном масштабе. Надо знать еще, в каком! Нам неудобно совмещать и бондировать слои, изготовленные в разном масштабе! Экранные почти не дают усадку, на схеме усадка больше и т. д.

Начальник цеха: У конкурентов не многим лучше результат по расчету. Чайник ты! Уменьши заготовку!

Технолог: Нельзя. Наш термобондинг и автоматическая светокопировальная меньшие заготовки не обрабатывают!

Начальник цеха: Ты точно чайник! Сделай меньше рабочее поле на заготовке до необходимого, рассчитай его, заготовка 305×457 мм,

а схема ведь меньше, пересчитай и доложи, хоть квадратный дециметр в центре! Уже не до хорошего!

Технолог: Так маленькую схемку мы и сейчас делаем, правда, выход годных не очень, но заказчик платит.

Начальник цеха: Точно попали! Гребаная модернизация! Ты не технолог, ты «Караулов какой-то!» Смотрел такую передачу? Россия, блин! Мы потратили более 500 000 евро на три установки, и что имеем? Китайцы такие платы на столе с подсветкой и паяльниками делают, а мы? Так, еще проверь, а этот PRINTPROCESS AG может решить проблему усадки и статистики без напряжения? Если нет, то и суда нет!

Да, еще! Какой размер заготовки гарантирует нам стабильный выход годных?

Давай, давай!

Действие III. Вечер. Завод. Кабинет начальника цеха

Технолог: Вот, шеф, информация и расчеты.

Оказывается, TARGOMAT III разработан специально для контроля усадки слоев и ламинированной заготовки МПП. В части измерений схема такая: разрешение измерений 0,2 мкм, точность измерений 2 мкм.

После всех операций (рис. 5) вся информация выводится на принтер и мы имеем статистику, привязанную в автоматическом режиме к номерам слоев и типу МПП. Реальный размер, размер по КД, среднее отклонение размеров, максимальное отклонение. Изменяем масштаб фотошаблонов, исходя из полученной усадки по факту на данном материале и размере заготовки, и при последующих запусках на том же материале получаем после прессовки размер заготовки в допуске 15–20 мкм на полном габарите. Но с термобондингом будут проблемы!

Начальник цеха: Почему?

Технолог: Так сварка либо оторвется, либо нет. Слои экранные и сигнальные ведь разную усадку дают, а сварка более жесткая, чем заклепка! Заклепка как штифт при размягчении материала немного отпустит слой. Вы помните, у китайцев ведь два цеха работает, один MAS-LAM, другой PIN-LAM? Что ж вы не спросили?

А как нам укладывать слои под оптику, слои, которые в разном масштабе, чтобы точность не загроублять! Поставить 50–70 мкм? Как будут гарантироваться наши 17 мкм?

Начальник цеха: Что PRINTPROCESS говорит?

Технолог: PRINTPROCESS говорит, что он выпускает и термобондинг, и риветинг (с помощью нормированных заклепок), и склейку на основе термостойкого клея. Имеется возможность сравнить и предложить выбор заказчику. Кстати, «МАРС» на клею работает, а «Рязань» — на склепке.

Начальник цеха: Ну и что, не тяни!

Технолог: Говорит, все выбирают заклепку (риветинг). Например, три завода фирмы RUWEL в Германии и самый крупный в Европе AT&S (Австрия).

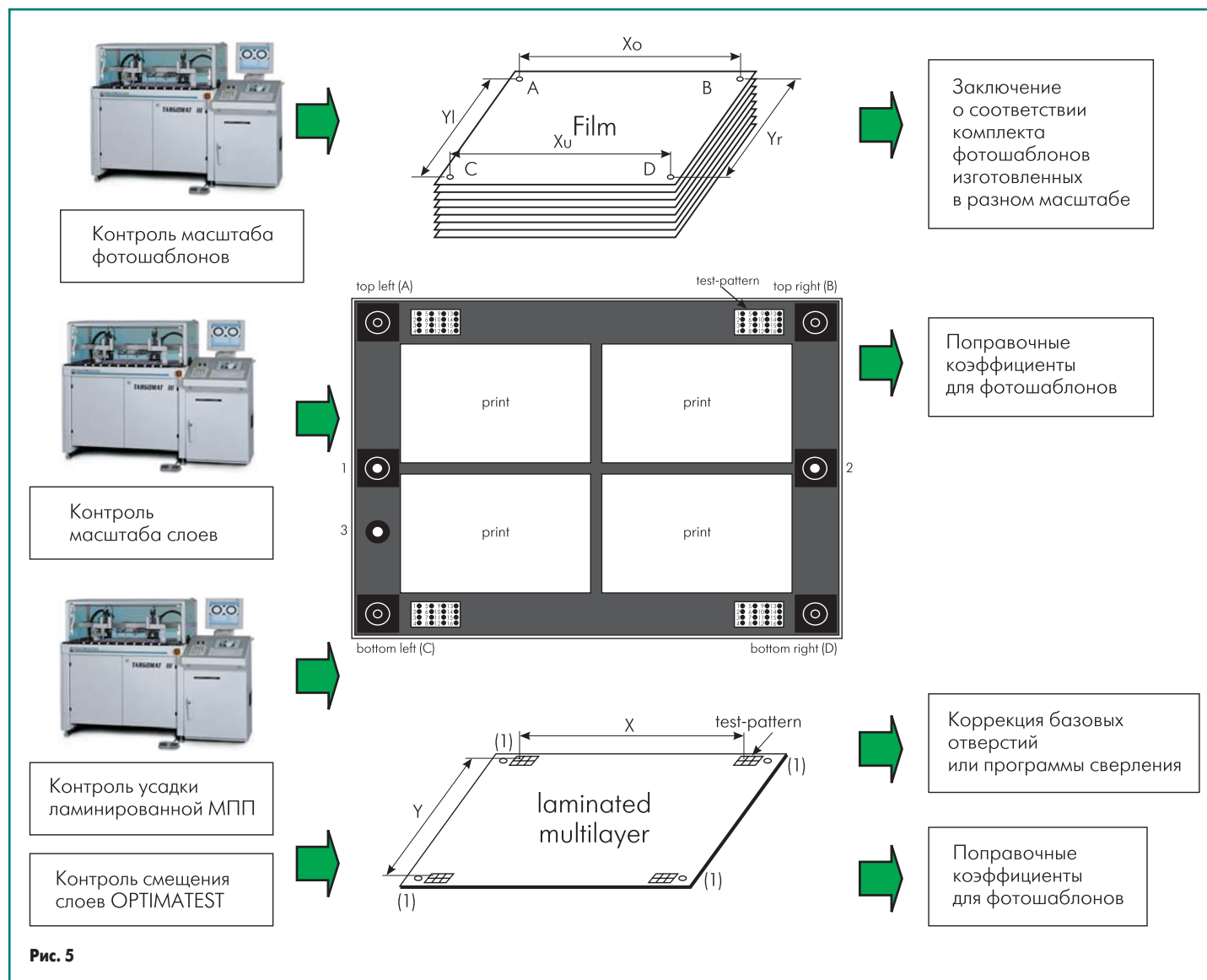
Начальник цеха: А как же деформация заклепки?

Технолог: Так при развальцовке внутри заклепки штифт с натягом. Если даже шляпка развальцована не соосно, смещения нет. При прессовке может заклепка местами деформироваться, ведь слоям надо придать в расчетный размер. А на термобондинге сдвиг, отрыв или фиксация, вы не знаете? Шеф, я думаю, эти педантичные немцы и австрийцы меньшие лохи, чем мы. Ну, есть у них списочек на 80 таких педантичных из разных стран, которые все попробовали. Кстати, у всех заклепки!

Начальник цеха: Не ерничай! Ну, хорошо, а как же штифты, на которых собирается пакет перед скреплением?

Технолог: В этом вся соль. Это не недостаток, а преимущество. Отверстия на слоях сформированы TARGOMAT III автоматически с точностью ±7 мкм. И мы можем без проблем сформировать их точно относительно центра заготовки слоя независимо от его масштаба, при этом точно проверить и запротоколировать масштаб в автоматическом режиме. Тут же осуществляется селективная раскладка, если надо.

Вся процедура занимает до 20 с. А мы вчера 10 минут вручную пытались совместить с помощью видеокамер 4 репера на слое с заданными точками на нашем комплекте — и что? Слой не резиновый. Две точки совместили, при совмещении других первые выходят



из зоны, и т. д.! Надо иметь хотя бы полный автомат. А как масштаб? Как статистика и измерение размеров?

Начальник цеха: Если не попали, так, по крайней мере, жизнь себе усложнили за наши деньги! Ну, докладывай, что с усадкой у этого PRINTPROCESS, какая точность совмещения заложена, и каков максимальный размер схемы, который мы можем делать на нашем новом комплекте оборудования?

Технолог: Проводим замену в формулах. При учете усадки размер пакета после прессования PRINTPROCESS можно держать в пределах 15–20 мкм от расчетного. Допуск на усадку слоев при травлении учтен автоматически при проектировании фотошаблона. Тогда суммарная точность системы PRINTPROCESS на заготовке будет равна:

$$A = \sqrt{(28/2)^2 + (105/2)^2 + 5^2 + 20^2 + (20/2)^2} = \sqrt{196 + 2756,25 + 25 + 400 + 100} = \pm 58,96 \text{ мкм.}$$

$$B = \sqrt{7^2 + 30^2 + 10^2 + (105/2)^2 + (28/2)^2} = \sqrt{900 + 100 + 2756,25 + 196} = \pm 63,25 \text{ мкм.}$$

$$\Sigma = \sqrt{58,96^2 + 63,25^2} = \sqrt{3476,28 + 4000,56} = \pm 86,47 \text{ мкм.}$$

У PRINTPROCESS имеется технологический запас на халатность по отношению к требованиям ГОСТ 23752-86 на заготовке 305×457 мм. Для того чтобы вписаться в жесткие рамки ГОСТ, уменьшаем заготовки и, подставляя в формулы новые значения усадок, пропор-

циональные размерам уменьшенных заготовок, получаем для PRINTPROCESS и нашего «Сборного комплекта» данные в виде таблиц (табл. 3 и 4).

Технолог: Шеф, похоже, наш комплект гораздо хуже. По ГОСТ 23751-86 требования к точности системы разделены на три диапазона: до 180 мм, до 360 мм, свыше 360 мм по длинной стороне печатной платы. PRINTPROCESS со своим автоматическим измерением и протоколированием масштаба проходит на заготовках свыше 360 мм.

Начальник цеха: Ты как считал? Ты забыл, что экспонирование с автоматическим совмещением. Уменьшай допустимую усадку фотошаблона! Мы можем установить допуски на деформацию фотошаблона не ±105 мкм, а, например, в диапазоне 50 мкм всего и прекратить

Таблица 3. «Сборная система» (без коррекции усадки)

Размер заготовки 305х..., мм	457	400	350	300	250	200	407×255*
Точность системы, мкм	121,85	113,76	107,14	101,04	95,58	90,87	109,86
Требует ГОСТ 23751-86, мкм	91,5	91,5	58,52	58,52	58,52	58,52	91,5

*Рабочее поле заготовки 457×305 мм

Таблица 4. PRINTPROCESS AG (с коррекцией усадки)

Размер заготовки 305х..., мм	457	400	350	300	250	200	407×255*
Точность системы, мкм	86,47	80,76	76,09	71,79	67,94	64,62	78,01
Требует ГОСТ 23751-86, мкм	91,5	91,5	58,52	58,52	58,52	58,52	91,5

*Рабочее поле заготовки 457×305 мм

экспонирование, когда фотошаблон выйдет за эти пределы деформации! У нас автоматическая рама!

Технолог: Гениально, шеф! Но если диапазон на фотошаблон 50 мкм, значит, при располвинивании допуска относительно центра получается ± 25 мкм, а точность позиционирования фотошаблонов на нашей установке по паспорту тоже 25 мкм? Никаких гарантий на повторяемость, шеф! Если мягко сказать! Как если бы мы с ценой деления 1 мкм собирались мерить величины около 1 мкм!

А у PRINTPROCESS точность позиционирования 5 мкм, можно установить и меньше, но медленней будет работать.

Начальник цеха: Я не понял, мы что купили — PRINTPROCESS или то, на чем тебе платы изготавливать? Иди, считай, а не хвали чужое!

Действие IV. Кульминация. Кабинет начальника цеха. Никого нет, кроме шефа и технолога

Начальник цеха: Ну что, спас отечество, дорогой!

Технолог: Посмотрите, шеф, идея с фотошаблоном была хороша, но! Если мы гипотетически примем диапазон на деформацию фотошаблона 50 мкм, то при располвинивании получается по 25 мкм на смещение контактной площадки в каждом углу. А эта величина равна по паспорту точности совмещения фотошаблона с просверленной заготовкой на нашей светокопировальной раме!

Начальник цеха: Стоп, я уже это слышал. Дальше.

Технолог: Все, докладываю. Если на машине экспонирования ограничим диапазон колебания размеров фотошаблона до 50 мкм (± 25 мкм), то придется часто останавливать работу для стабилизации размера фотошаблона, ведь на маленьких заготовках наша установка не работает, камеры близко не сходятся, да и фотошаблон все равно остается большого размера, значит, и деформация его будет больше. А у PRINTPROCESS камера по всему полю бежит. Можно репера хоть в центре платы ставить. И кассеты для маленьких фотошаблонов есть. И автоматически в установку стабилизируется размер фотошаблона, когда это требуется в процессе работы — «релакс» называется.

Начальник цеха: Про нас говори!

Технолог: Итак, из формул убираем усадку фотошаблона от климатических условий, и значение деформации фотошаблона от использования равно допуску, вводимому в установку ± 25 мкм (всего 50 мкм), ведь это контролирует экспонирующая установка. Ну и получаем... Если хотите, поупражняйтесь на досуге с калькулятором, шеф (табл. 5–6).

Таблица 5. «Сборная система» (без коррекции усадки материала) при допуске на деформацию фотошаблона ± 25 мкм

Размер заготовки 305х..., мм	457	400	350	300	250	200	407×255
Точность системы, мкм	100,97	95,09	90,31	85,95	82,09	78,78	92,23
Требуется ГОСТ 23751, мкм	91,5	91,5	58,52	58,52	58,52	58,52	91,5

*Рабочее поле для заготовки 457×305 мм

Шеф, без автоматического контроля и коррекции усадки нам никуда. Мы в любом случае «пролетаем». Наша точность везде меньше требований ГОСТа. Вот, в последней графе со звездочкой я пересчитал на рабочее поле заготовки. А у PRINTPROCESS почти двойной запас по отношению к нам.

Начальник цеха: Рабочее поле меньше, чем заготовка, на 50 мм, по 25 на сторону. Пересчитай на рабочее поле всех заготовок, как положено!

Технолог: Соответствие ГОСТу еще хуже будет, ведь после размера 360 мм по ГОСТу требования к вкладу систем совмещения и процессу уже 58,52 мкм.

ПАУЗА.

Начальник цеха: На конференции про наше оборудование кто рассказывал? Людей много было?

Технолог: Больше ста. Про прецизионное оборудование и технологии говорили.

Начальник цеха: Значит так.

1. В библиотеку надо было ходить до конференции.
2. Давай сюда свою диссертацию и иди учишь работать на том, что купили.
3. Смотри на плату, а не в ГОСТ! Бери штангенциркуль и измерь усадку, на рентгене, на УИМе... Все и вся измеряйте. Добивайся от поставщика, чтоб дали, доработали оборудование, что хочешь делай и, главное, запомни: мы купили хороший процесс!

Понял? Успехов.

Начальник остался один. Размышления.

Да, без автоматической статистики тяжело. Выходит, не важно, сколько камер, важно, что они могут. Внедрять — не покупать.

И раму надо, которая на маленьких шаблонах и заготовках могла бы работать. И менее была бы чувствительной к короблению. И вот тебе разница в потребительских свойствах — 5 и 25 мкм совмещение. А ведь и действительно! Есть же разница в стоимости и потребительских качествах сверлильного станка с точностью позиционирования 5 и 25 мкм. Просто разные деньги!

Вот так, все оборудование отличное, соответствует паспортным данным, а что требуется — не получается. Не срывается, не согласовывается! Нет комплексного решения задачи, есть комплект оборудования, оптовая поставка новых основных средств! Опять «грабли»!

Значит, говоришь, более 100 человек слушали? Думаю, педантичных не много будет. ГОСТ вспоминают, когда сдавать платы надо. Разве что конструкторы... Может, ГОСТ староват? — О! Хорошая идея!

Продолжение следует

Таблица 6. PRINTPROCESS (с коррекцией усадки материала) при допуске на деформацию фотошаблона ± 25 мкм

Размер заготовки 305х..., мм	457	400	350	300	250	200	407×255*
Точность системы, мкм	53,14	51,2	49,66	48,29	47,1	46,1	50,29
Требуется ГОСТ 23751, мкм	91,5	91,5	58,52	58,52	58,52	58,52	91,5

*Рабочее поле для заготовки 457×305 мм