

Производство печатных плат. Мифы и реальность

При общении с нашими заказчиками приходится слышать много неверных мнений, превратившихся уже в мифы. Они мешают в выборе правильных решений при становлении и модернизации производства, приводят к излишним затратам. Это послужило поводом для создания этой статьи, где сделана попытка развенчания некоторых, наиболее часто встречающихся мифов в оценке производства печатных плат.

Петр Семенов

Petr.semenov@ostec-smf.ru

Миф № 1. Создать производство печатных плат и производство поверхностного монтажа одинаково сложно

На примере мобильных телефонов можно сравнить капитальные затраты на производство многослойных печатных плат и сборочно-монтажное производство, сбалансированные по производительности (табл. 1, 2, рис. 1, 2).

Таблица 1. Сопоставление затрат на создание производства печатных плат и сборочно-монтажного производства применительно к выпуску мобильных телефонов

Показатели проекта	Участок поверхностного монтажа	Цех печатных плат
Производительность	180 000 компонентов в час	3 кв. м в час
Комплектность	3 линии по 60 000 компонентов в час	50–60 единиц оборудования
Производственные площади	120 кв. м под установку линии	750 кв. м под установку оборудования
Стоимость комплекта оборудования	120 млн руб./\$3 300 000	320 млн руб./\$9 000 000

Таблица 2. Сравнение результатов

Параметр	Сборка	Печатные платы
Производительность	Большое увеличение	Незначительное увеличение
Срок окупаемости	6 месяцев	3 года (менее 2 лет при выпуске специальной продукции)
Занимаемая площадь	325 кв. м	750 кв. м
Новые проблемы	Печатные платы, надежность (разница КТР)	Расходные и базовые материалы



Рис. 1. Сравнение затрат на приобретение оборудования



Рис. 2. Сравнение производственных площадей для установки оборудования

Характеристики сборочно-монтажного производства до модернизации:

- Примитивное оборудование для ручной сборки.
- Низкая производительность.
- Нет возможности проводить монтаж новой элементной базы.
- Высокая трудоемкость.
- Деликатное отношение к компонентам при последовательной пайке.
- Низкие требования к геометрии финишных покрытий печатных плат и короблению.

Характеристики сборочно-монтажного производства после модернизации:

- Несравнимо более высокая производительность.
- Возможность установки новых компонентов.
- Автоматический оптический контроль.
- Средний срок окупаемости — 6 месяцев.
- Возникновение повышенных напряжений в элементной базе из-за разности КТР элементов и подложки печатной платы.
- Высокие требования к геометрии финишных покрытий печатных плат и короблению.

Характеристики производства печатных плат до модернизации:

- Сложное устаревшее оборудование.
- Тяжелые условия труда.
- Наличие автоматизации большинства процессов.
- Большое количество оснастки.
- Проблемы с утилизацией сточных вод и отходов.

Характеристики производства печатных плат после модернизации:

- Сокращение производственного цикла.
- Улучшение условий труда.
- Улучшение качества.
- Новые возможности по проектированию плат с высокой плотностью соединений.
- Решение проблем с утилизацией сточных вод и отходов.
- Срок окупаемости — не менее 3 лет.
- Более высокие требования к качеству базовых материалов, фоторезиста и инструмента.

Вывод: создание производства печатных плат требует больших усилий, чем сборочно-монтажного производства, и окупаемость затрат наступает гораздо позже.

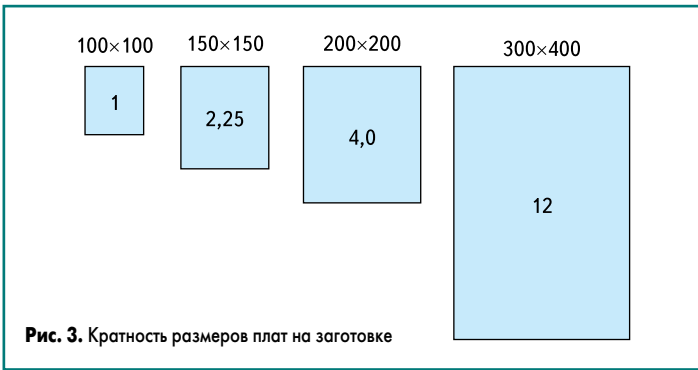


Рис. 3. Кратность размеров плат на заготовке

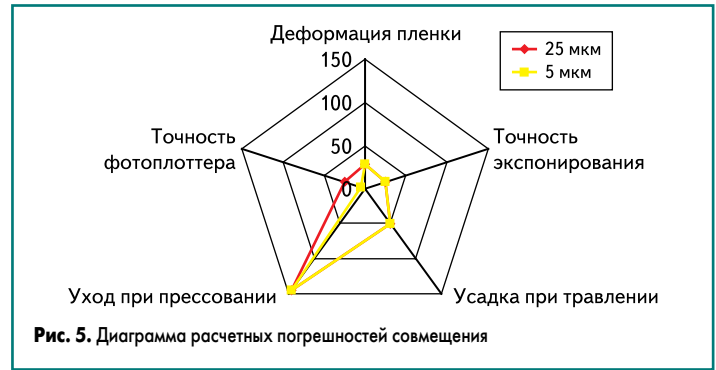


Рис. 5. Диаграмма расчетных погрешностей совмещения

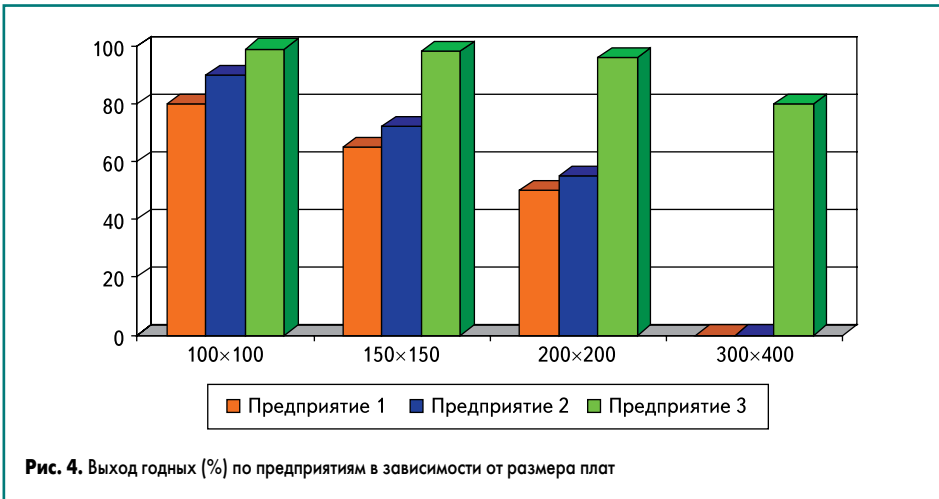


Рис. 4. Выход годных (%) по предприятиям в зависимости от размера плат

Таблица 4. Составляющие погрешности совмещения

Обеспечение точности совмещения		Погрешности совмещения
Изменение размера фотошаблона по диагонали при изменении влажности $\pm 5\%$ и температуры $\pm 1^\circ\text{C}$	$\Delta L_{f\text{tool}}$	± 28 мкм (вводим ограничения в установку экспонирования)
Усадка слоев при травлении (макс.)	ΔL_{etch}	± 50 мкм
Изменение размеров пакета МПП при прессовании	ΔL_{press}	± 145 мкм
Точность сверления на сверлильном станке с учетом разницы координат входа и выхода сверла из пакета	ΔL_{drill}	± 30 мкм
Точность позиционирования фотоплоттера	ΔL_{fplot}	± 5 или ± 25 мкм

$$\sum_5 = \sqrt{(\Delta L_{f\text{tool}}/2)^2 + (\Delta L_{\text{etch}}/2)^2 + (\Delta L_{\text{press}}/2)^2 + (\Delta L_{\text{drill}}/2)^2 + (\Delta L_{\text{fplot}})^2} = \sqrt{(28/2)^2 + (50/2)^2 + (145/2)^2 + (30/2)^2 + (5/2)^2} = \pm 79,43 \text{ мкм} \quad (1)$$

$$\sum_{25} = \sqrt{(\Delta L_{f\text{tool}}/2)^2 + (\Delta L_{\text{etch}}/2)^2 + (\Delta L_{\text{press}}/2)^2 + (\Delta L_{\text{drill}}/2)^2 + (\Delta L_{\text{fplot}})^2} = \sqrt{(28/2)^2 + (50/2)^2 + (145/2)^2 + (30/2)^2 + (25/2)^2} = \pm 80,36 \text{ мкм} \quad (2)$$

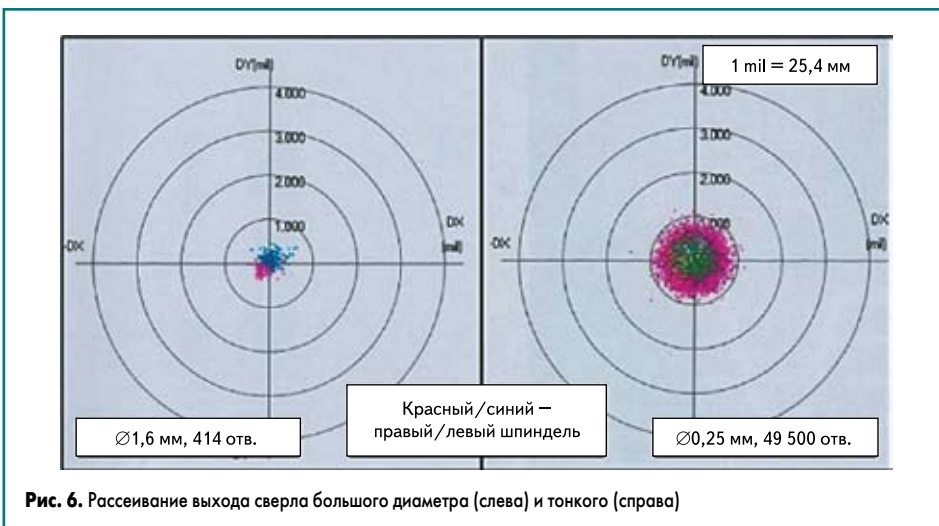


Рис. 6. Рассеивание выхода сверла большого диаметра (слева) и тонкого (справа)

Миф № 2. Выход годных не зависит от размера плат

Если существует определенная вероятность появления дефектов на заготовке плат, то чем меньше плата, тем меньше эта вероятность. Платы меньшего размера могут попадать в поле заготовки без дефектов, и по мере увеличения размера платы вероятность включения в нее дефектов увеличивается: выход годных падает (рис. 3, 4, табл. 3).

Таблица 3. Выход годных на одной заготовке в зависимости от размера плат

Класс предприятия	100x100 мм	150x150 мм	200x200 мм	300x400 мм
1	80%	65%	50%	0%
2	90%	72%	55%	0%
3	99%	98%	96%	80%

Вывод: оценку выхода годных нужно сопровождать информацией, к какому размеру плат она относится.

Миф № 3. Точность фотоплоттера как оборудования, создающего инструмент (фотошаблон), имеет приоритетное значение по сравнению с другими характеристиками

На рис. 5 показана прогнозируемая точность совмещения, обеспечиваемая на разных операциях, с использованием фотоплоттеров с различной точностью позиционирования: 5 и 25 мкм. Расчеты показывают, что точность фотоплоттеров почти не сказывается на результирующей точности совмещения (табл. 4):

- Точность совмещения с фотоплоттером 5 мкм (1).
- Точность совмещения с фотоплоттером 25 мкм (2).

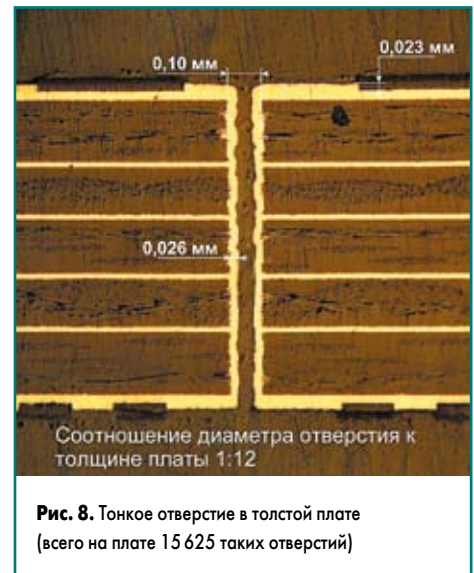
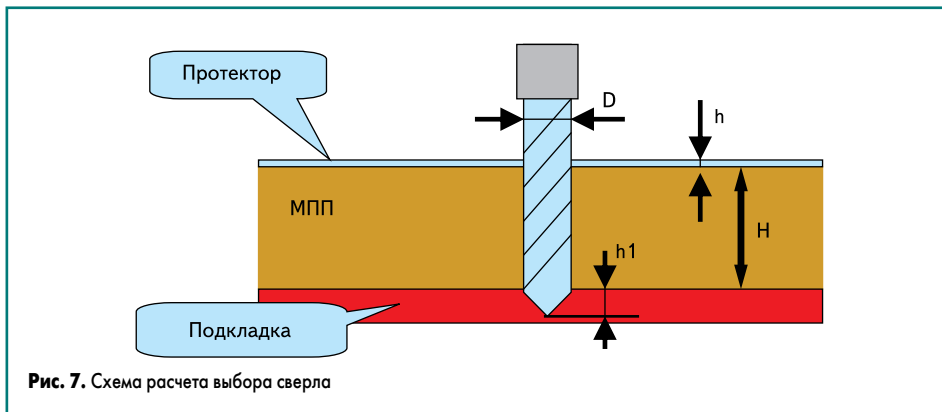
Вывод: на фоне больших линейных деформаций тонких слоев МПП точность позиционирования фотоплоттеров мало сказывается на результатах совмещения.

Миф № 4. Точность позиционирования сверлильного станка имеет приоритетное значение при прецизионном сверлении отверстий

На самом деле довлеющее значение имеет выход сверла, зависящий от структуры ма-

$$\sum_5 \Delta X = \sqrt{(\Delta X_{in}/2)^2 + (\Delta X_{dev}/2)^2 + (\Delta X_{dif}/2)^2} = \sqrt{(5/2)^2 + (5/2)^2 + (25/2)^2} = 26 \text{ мкм} \quad (3)$$

$$\sum_5 \Delta X = \sqrt{(\Delta X_{in}/2)^2 + (\Delta X_{dev}/2)^2 + (\Delta X_{dif}/2)^2} = \sqrt{(25/2)^2 + (5/2)^2 + (25/2)^2} = 30 \text{ мкм} \quad (4)$$



териала основания платы. Анизотропность структуры материала создает случайность препятствий для заглупления сверла, в результате чего оно может отклоняться, и на выходе сверла возникает больший разброс отклонений, чем на входе. На рис. 6 показано рассеивание позиций выхода сверла большого диаметра, на котором не сказывается анизотропия материала, и для тонкого сверла, диаметр которого соизмерим с переплетениями стеклоткани материала основания.

Сравниваем точность позиционирования шпинделя: (ΔX_{in}) — 5 мкм и (ΔX_{in}) — 20 мкм, при биении на установленном сверле макс. (ΔX_{dev}) — 5 мкм, установленная разница между входом и выходом сверла (ΔX_{dif}) — 25 мкм:

- Точность позиционирования сверла на входе — 5 мкм (3).
- Точность позиционирования сверла на выходе — 25 мкм (4).

Вывод: более значимым в системе совмещения является отклонение позиции выхода сверла, особенно существенное для тонких сверл и грубых тканей.

Миф № 5.

Химические вещества и технология металлизации содержат металлизацию тонких отверстий при большой толщине печатной платы

В не меньшей степени на возможности формирования тонких отверстий сказывается конфигурация сверла: длина рабочей части, возможность выхода стружки, перегрев режущей кромки по мере изношенности сверла.

Максимальная толщина платы, которая может быть просверлена, может быть рассчитана с учетом параметров, показанных на рис. 7:

$$H = kL - h - h_1,$$

где H — максимально возможная толщина платы для сверла длиной L ; k — коэффициент использования рабочей части сверла, равный 0,7; h — толщина протектора (накладки); h_1 — глубина входа сверла в подкладку.

На рис. 8 показан реальный результат металлизации тонких отверстий, полученный на ПТК ПП ФГУП ГРПЗ (г. Рязань). Использовался импульсно-реверсивный процесс электрохимической металлизации. Обращает на себя внимание толщина металлизации: внутри отверстия она больше, чем на поверхности.

Вывод: помимо химических и гальванических процессов, на формировании тонких металлизированных отверстий в «толстых» платах сказывается выбор конфигурации тонких сверл.

Миф № 6.

Материал FR4 (кавалитет 104) подходит для производства прецизионных МПП

Давайте посмотрим, удовлетворяет ли этот материал стандартным требованиям хотя бы по сопротивлению электрической изоляции (табл. 5) [1].

В таблице 6 показаны требования ГОСТ 23752 для сопротивления изоляции. Сопоставление результатов расчета говорит не в пользу использования материала FR4. Сопротивление

изоляции между 2 проводниками длиной 100 мм и с зазором 0,1 мм можно рассчитать: $R_{из} = MOm \times 0,1/10 = 1,3 \times 1000 = 1300 \text{ МОм}$, при том, что по ГОСТ требуется минимальное сопротивление изоляции в нормальных условиях 10 000 МОм.

Миф № 7.

Изготовим МПП 5-го класса точности из отечественного материала

Согласно требованиям ГОСТ 23751-86 «Платы печатные, Основные параметры конструкции» (п. 2.3.3, таблица 5), значение позиционного допуска расположения центров контактных площадок в диаметральном выражении составляет для 3-го, 4-го и 5-го класса точности 0,3, 0,25 и 0,2 мм, что будет соответствовать отклонению от среднего значения позиции $\pm 0,15$, $\pm 0,125$ и $\pm 0,1$ мм. Сопоставим это требование с усадкой материалов, сказывающейся на точности позиционирования, значения которой установлены в отечественной нормативной документации. С одной стороны, ГОСТ 23752-79 «Платы печатные. Общие технические условия» требует приме-

Таблица 5. Нормативы на электрическую изоляцию

Свойства	Спецификация для $\leq 0,78$ мм	Значения ISOLA для $\leq 0,78$ мм
Удельное объемное сопротивление, МОм·см		
А. В условиях повышенной влажности С 96/35/90	1×10^6	6×10^6
В. При повышенной температуре E-24/125	1×10^3	$7,2 \times 10^6$
Поверхностное сопротивление, МОм		
А. В условиях повышенной влажности С 96/35/90	1×10^4	$1,3 \times 10^6$
В. При повышенной температуре E-24/125	1×10^3	$3,7 \times 10^7$

Таблица 6. Требования ГОСТ 23752 к сопротивлению изоляции (МОм)

Материал основания	Нормальные условия	Относительная влажность 93 ± 3%					Повышенная температура		
		При температуре 25 ± 10 °С		При температуре 40 ± 2 °С			85 ± 3 °С	100 ± 3 °С	120 ± 5 °С
		1 ч	2 сут.	4 сут.	10 сут.	21 сут. и более	2 ч	2 ч	2 ч
Гетинакс	5000	300	1	0,5	—	—	20	—	—
Стеклотекстолит	10 000	700	30	20	5	1	300	200	100
Лавсан, полиимид	10 000	700	—	20	5	1	—	300	—

Таблица 7. Сопоставление требований по позиционной точности с нормативной деформацией материалов тонких слоев МПП

Требования стандартов	Значение позиционного допуска по ГОСТ 23752-79	Стабильность линейных размеров по ГОСТ 26246.11-89, п. 3.6
Класс 3	0,3	0,336
Класс 4	0,25	0,336
Класс 5	0,2	0,336

нения отечественного ламината, соответствующего ГОСТ 26246.11-89 «Материал электроизоляционный фольгированный тонкий нормированной горючести для многослойных печатных плат на основе стеклоткани, пропитанной эпоксидным связующим». С другой — ГОСТ 26246.11-89 (п. 3.6) устанавливает стабильность линейных размеров не хуже $\pm 0,8$ мкм/мм для материала толщиной от 0,05 до 0,3 мм. Это означает, что ГОСТ 26246.11-89 допускает деформацию заготовки слоя на дистанции 420 мм (межбазовое расстояние): $420(\pm 0,8) = \pm 336$ мкм ($\pm 0,336$ мм). Результаты сопоставления показаны в таблице 7.

Вывод: предусмотренные ГОСТ 23751 требования к совмещению не согласуются с реальной размерной стабильностью тонких материалов для внутренних слоев МПП.

Заключение

Практика реализации многочисленных проектов высокотехнологичных производств многослойных печатных плат привела к осмыслению существа многих процессов и развенчанию неверных представлений о направленности усилий по становлению и модернизации имеющихся производств.

Литература

1. http://www.petrocom.ru/docs/DURAVER-E-Cu_Qualitt_104_ML.pdf