

# ТЕХНОЛОГИИ

## В ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ

# ЭЛТЕХ

СОЗДАНИЕ НАУКОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ

НАУКОЕМКИЕ ПРОИЗВОДСТВА  
 ЭРС КОНТРАКТИНГ  
 ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНЖИНИРИНГ  
 Р&D ЦЕНТРЫ  
 ИНЖЕНЕРНАЯ СТРУКТУРА  
 ТРАНСПОРТ ТЕХНОЛОГИЙ

# 10 ЛЕТ

www.eltech.com info@eltech.com

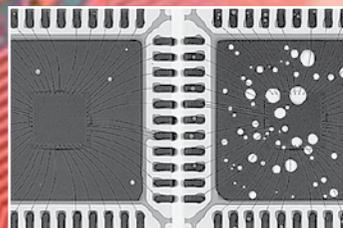
350 проектов создания, модернизации, реконструкции, технического перевооружения высокотехнологичных производств в 42 регионах Российской Федерации



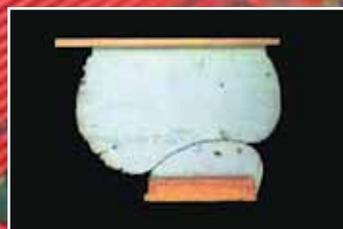
Первый, построенный с нуля. Репортаж с завода печатных плат в Дубне



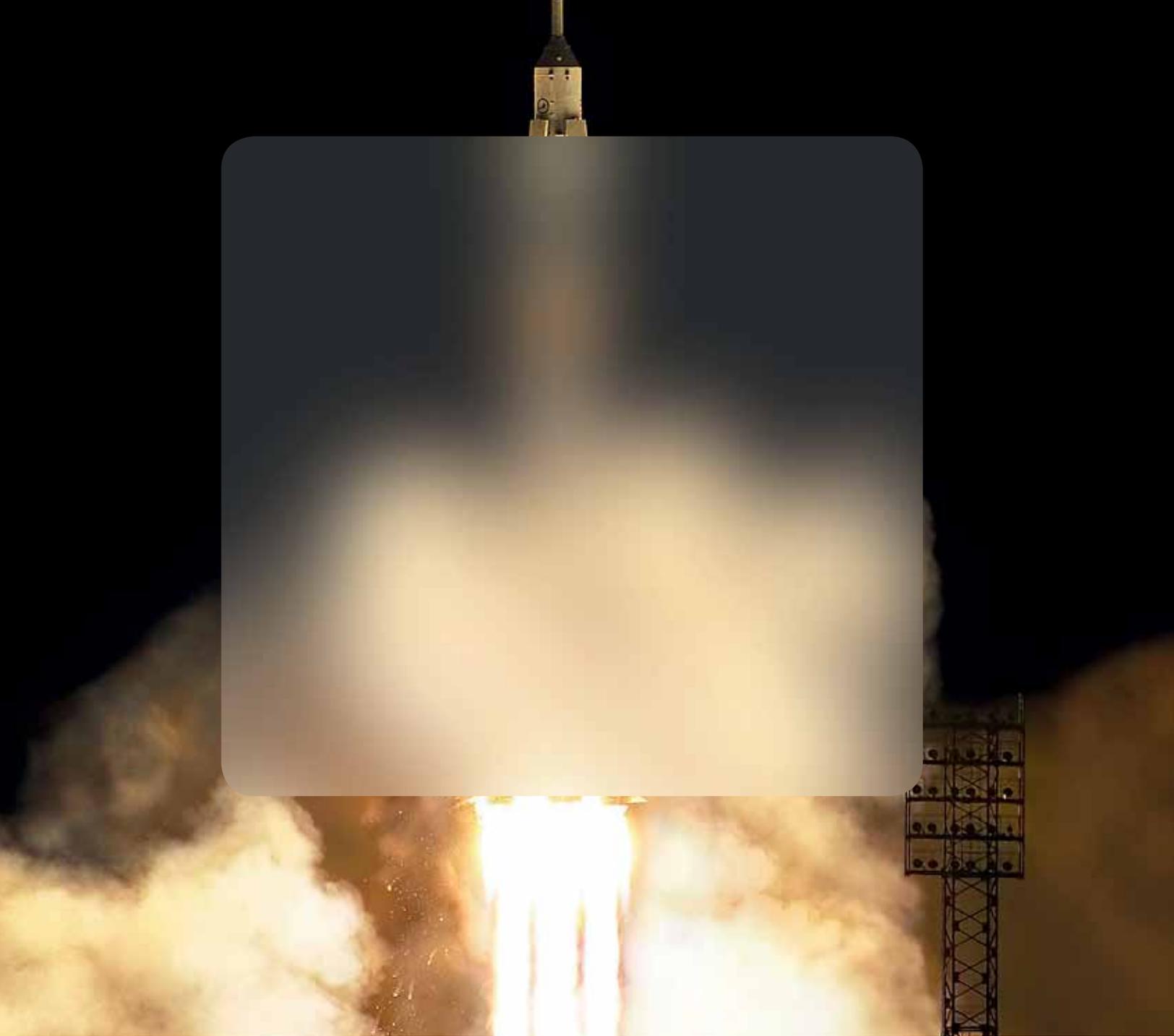
Современные отечественные гальванические линии для производства ПП высокого класса



Пайка с вакуумом или без него? Гибкое решение «2 в 1» для пайки оплавлением



Состояние дефекта вида «голова на подушке» в технологии поверхностного монтажа



# Видеть сегодня авиакосмическую технику будущего невозможно, но технологии производства электроники для нее — необходимо

Новые характеристики, которыми будут обладать электронные компоненты бортового оборудования летательных аппаратов завтра, зависят от технологий их производства, что необходимо внедрять сегодня. У нас уже есть решения для такого развития, разработанные в сотрудничестве с мировыми поставщиками новейшего оборудования и технологий. Эти решения позволяют найти оптимальный путь к успеху производства электроники в авиационной и космической промышленности.



будущее  
создается

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)  
(495) 788 44 44  
[info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)



## Лучшие цены на ультразвуковые ванны Elma из Германии



- **Электронный контроль времени и нагрева;**
- **Высокоэффективные системы ультразвуковых преобразований;**
- **Функция Sweep: однородное распределение ультразвуковой мощности по всему объему ванны;**
- **Функция Degas: быстрая дегазация свежеприготовленной чистящей жидкости;**
- **Функция Pulse: увеличение мощности ультразвукового воздействия без увеличения энергопотребления;**
- **Многочастотная технология в одной мойке;**
- **Различные варианты исполнения ванн и каскадных систем.**

115191, г. Москва, ул. 3-я Рощинская, д. 5,  
Тел.: +7 (495) 545-4292, факс: +7 (495) 952-5099  
e-mail: [info@clever.ru](mailto:info@clever.ru)  
[www.clever.ru](http://www.clever.ru)

## Директор

Павел Правосудов pavel@fsmedia.ru

## Главный редактор

Константин Прилипко konstantin.prilipko@fsmedia.ru

## Координатор проекта

Ольга Зайцева olga\_z@fsmedia.ru

## Выпускающий редактор

Марина Короткова marina.korotkova@fsmedia.ru

## Технический консультант

Аркадий Медведев medvedevam@bk.ru

## Дизайн и верстка

Ольга Ворченко, Дмитрий Никаноров

## Редактор

Наталья Новикова Natalia.Novikova@fsmedia.ru

## Отдел рекламы

Ирина Миленина irina@fsmedia.ru

## Отдел подписки

Наталья Виноградова podpiska@fsmedia.ru

## Москва

105120, Нижняя Сыромятническая ул.,  
д. 10, стр. 4, оф. 218  
Тел./факс: (495) 987-3720

## Санкт-Петербург

197101, Петроградская наб., д. 34, лит. Б  
Тел./факс (812) 438-1538  
E-mail: technology@fsmedia.ru  
web: www.tech-e.ru

## Республика Беларусь

«ПремьерЭлектрик»  
г. Минск, ул. Маяковского, д. 115, 7-й этаж  
Тел./факс: (10\*37517) 297-3350, 297-3362  
E-mail: murom@premier-electric.com

Журнал «Технологии в электронной промышленности» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-34311 от 26 ноября 2008 года.

## Учредитель

ЗАО «Медиа Группа Файнстрит»,  
191023, Санкт-Петербург,  
Апраксин пер., 9А, пом. 2-Н

## Издатель, редакция

ООО «Медиа КиТ»  
197101, г. Санкт-Петербург,  
Петроградская наб., 34Б

## Подписные индексы

Каталог агентства «Роспечать» – 36085  
Каталог «Вся пресса» – 36085

Подписано в печать 31.07.15  
Тираж 4000 экз.  
Свободная цена

Отпечатано в типографии ООО «Акцент Групп»  
194044, Россия, Санкт-Петербург,  
Б. Сампсониевский пр., д. 60 лит. И.  
Редакция не несет ответственности за информацию, приведенную в рекламных материалах. Полное или частичное воспроизведение материалов допускается с разрешения ООО «Медиа КиТ».

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).  
На сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU (www.elibrary.ru) доступны полные тексты статей. Статьи из номеров журнала текущего года предоставляются на платной основе.

# В номере:

## Рынок

### Юрий Курочкин

Первый, построенный с нуля.  
Репортаж с завода печатных плат в Дубне .....6

«Контрсанкции» — тактика и стратегия поведения на рынке контрактного производства электроники .....10

### Максим Кулюкин

Контрактное производство электроники в России. ....14

## Печатные платы

### Татьяна Колесникова

Проектирование принципиальных схем и печатных плат в программной среде Mentor Graphics PADS 9.5. Часть 7. Использование средств LineSim для определения причин нарушений и нахождения решений проблем целостности сигналов высокоскоростных печатных плат .....17

### Евгений Крылов, Сергей Кочетков, Илья Лейтес

Современные отечественные гальванические линии для производства ПП высокого класса .....24

### Илья Лейтес, Андрей Мусин

Особенности производства печатных плат 6–7-го классов точности. Как изготавливать. На что обращать особое внимание. ....28

### Никита Петров

Защитная паяльная маска: азы. Часть 2. ....32

### Аркадий Медведев, Аркадий Сержантов

Начальный курс производства электроники. Часть третья-бис. Подробнее о многослойных печатных платах ...36

## Технология сборки

### Владимир Ланин, Алексей Васильев

Манипуляторы для поверхностного монтажа электронных модулей .....40

### Антон Кантер

Фокусная инфракрасная пайка — ремонт BGA-микросхем с превосходным качеством .....46

### Пауль Вильд

Пайка с вакуумом или без него? Гибкое решение «2 в 1» для пайки оплавлением .....49

### Алексей Дмитриев

Обзор рынка паяльного оборудования для ручного монтажа. ....52

# ЭВОЛЮЦИЯ ОТМЫВКИ

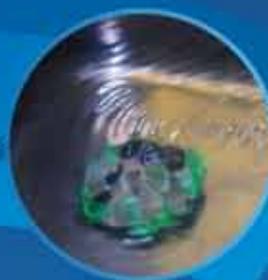
АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОТМЫВКА ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ В ЖИДКОСТЯХ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СПИРТОВ



РУЧНАЯ ОТМЫВКА



БАРБОТАЖ  
СТРУИ В ОБЪЕМЕ



УЛЬТРАЗВУК



СТРУИ В ВОЗДУХЕ

## REK Fluid Cleaner FC 500

### УНИКАЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

Время цикла вместе с сушкой: < 10 мин

Эффективная отмывка, в том числе под корпусами и в скрытых полостях

Расход жидкости: < 30 л/год

Высокая производительность

Возможность выбора агитации:

- ультразвук
- перемешивание в жидкости
- перемещение корзины с возможностью регулировки скорости

Ополаскивание в паровой фазе

Сушка при постоянном вакууме

Непрерывная регенерация жидкости



РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЖИДКОСТИ:

 ПРОИЗВЕДЕНО В ГЕРМАНИИ



## КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ для производства электроники

+7(495) 980-08-19

[www.global-smt.ru](http://www.global-smt.ru)

## Director

Pavel Pravosudov pavel@fsmedia.ru

## Editor-in-chief

Konstantin Prilipko  
konstantin.prilipko@fsmedia.ru

## Project manager

Olga Zaytseva olga\_z@fsmedia.ru

## Managing editor

Marina Korotkova marina.korotkova@fsmedia.ru

## Editorial staff

Arkadiy Medvedev medvedevam@bk.ru

## Editorial

Natalia Novikova Natalia.Novikova@fsmedia.ru

## Design and layout

Olga Vorchenko  
Dmitry Nikanorov

## Advertising department

Irina Milenina irina@fsmedia.ru

## Subscription department

Natalia Vinogradova podpiska@fsmedia.ru

## Editorial office

10, b. 4, of. 218,  
Nijnyaya Syromyatnicheskaya str.,  
Moscow,  
105120, Russia  
Tel. +7 (495) 987-3720

b. 34 "B", Petrogradskaya Emb.,  
St. Petersburg,  
197101, Russia  
Tel./fax +7 (812) 438-1538  
E-mail: technology@fsmedia.ru  
www.tech-e.ru

## Representative office in Belarus

Minsk, Premier Electric  
Tel. (10\*37517) 297-3350, 297-3362  
E-mail: murom@premier-electric.com

## Subscription index

### for Technologies in Electronic Industry

Rospetchat Agency catalogue  
subscription index 36085

All press catalogue

subscription index 36085

# В номере:

**Дуди Амир (Dudi Amir), Райо Аспандиар (Raiyo Aspandiar), Скотт Баттарс (Scott Buttars), Вей Вей Чин (Wei Wei Chin), Парамжит Гилл (Paramjeet Gill)**

Состояние дефекта вида «голова на подушке» в технологии поверхностного монтажа. . . . .54

## Илья Усов

Вакуумные миксеры — оборудование для приготовления отечественных компаундов, клеев и герметиков. . . . .60

## Тестирование

### Олег Суворов

Преимущества использования тестеров проводного монтажа . . . . .63

## Организация производства

### Алексей Бархударов

Политика аналитики. Современные программные разработки позволяют эффективно решить проблему сбора и анализа информации на производстве. . . . .66

### Денис Кулицкий

Воплощая идеи: автоматизированные решения компании ASYS . . . . .70

## Микроэлектроника

### Дмитрий Барбарчук, Владимир Ланин, Святослав Школык, Алексей Хасьянов

Автоматизированный монтаж кристаллов силовых диодов . . . . .76

## Список рекламы

Rehm Thermal Systems . . . . .	51
Абсолют, Торговый дом, ООО . . . . .	13
Аксион-холдинг, Ижевский мотозавод, ОАО . . . . .	35
Вектор технологий, ООО . . . . .	53
Глобал Инжиниринг, ООО . . . . .	3
Диал Компонент, ООО . . . . .	4-я обл.
Диполь Технология, ООО . . . . .	вклейка
Клевер Электроникс, ООО . . . . .	1
Компонента, ЗАО . . . . .	75
Мессе Мюнхен Консалтинг, ООО . . . . .	23
Многослойные печатные платы, ООО . . . . .	27
НИЦЭВТ, ОАО . . . . .	31
НКАБ-Эрикон, ООО . . . . .	5
Новосибирская Электронная Компания, ООО . . . . .	12
Нордсон РУС, ООО . . . . .	13
Остек Предприятие, ООО . . . . .	2-я обл.
Совтест АТЕ, ООО . . . . .	65
УниверсалПрибор, НПФ, ООО . . . . .	вклейка
Электроконнект, ООО . . . . .	69
ЭлТех СПб, ЗАО . . . . .	1-я обл.
Выставка "Aerospace testing & Industrial Control" . . . . .	44
Выставка "ElectronTechExpo" . . . . .	3-я обл.
Выставка «Радиоэлектроника и приборостроение» . . . . .	48



## “Подводное плавание с друзьями”

Один из бесценных моментов жизни.  
Давайте работать, чтобы их было больше!



Мы спросили сотрудников NCAB, почему мы все должны помочь создать лучшее будущее. Этот снимок сделал у Барьерного Рифа Джек Кей, руководитель нашей Группы Управления Производством, страстный дайвер, но никудышной фотограф...

Более 20 лет мы производим то, что является сердцем передовых технологий — печатные платы. Ваш ключевой компонент. Мы делаем это с большой ответственностью и самоотдачей, вкладывая все знания и многолетний опыт, чтобы получить настолько хороший результат, каким он только может быть. Но продукт не может быть совершенным, если он не учитывает вызовы самой жизни и окружающей среды. Наши идеи совершенствования уже выходят за рамки печатных плат.

В 2014 году мы одни из первых в нашей отрасли разработали стратегию устойчивого развития в соответствии с новым стандартом ISO 26000. Мы концентрируемся на процессах, где мы имеем наибольшее влияние на людей и окружающую среду. Это означает улучшение социальных, этических, экологических аспектов — там, где мы есть и все время. Итак, когда в следующий раз вы увидите нашу зеленую плату, она покажется более «зеленой». Это, действительно, так!

Посетите наш сайт [www.ncab.ru](http://www.ncab.ru), чтобы узнать больше



# Первый, построенный с нуля

## Репортаж с завода печатных плат в Дубне

**В рамках прошедшей в конце июня XIII Международной конференции «Основные направления развития технологий, оборудования и материалов для производства печатных плат» состоялась экскурсия ее участников на завод по производству печатных плат ООО «Связь инжиниринг КБ», расположенный на территории технико-внедренческой особой экономической зоны в городе Дубне (Московская область).**

Экскурсия проводилась накануне запуска производства и начала коммерческой деятельности, запланированных на июль 2015 года. Гостеприимные хозяева — генеральный директор Михаил Юрьевич Крылов, заместитель генерального директора — технический директор Андрей Леонидович Жигачев, директор по качеству Роман Евграфьевич Суховский, главный технолог Сергей Игоревич Росинкин и ведущий технолог Юрий Юрьевич Охват — показали участникам конференции заводские цеха, а затем, уже на самой конференции, выступили с презентацией и ответили на многочисленные вопросы специалистов.

Новый завод — первое в России предприятие полного цикла по производству современных печатных плат, спроектированное и построенное с нуля после 1991 года. Оснащен завод самым современным оборудованием от ведущих мировых производителей, а планировка производственных помещений вы-

полнена таким образом, чтобы оптимизировать технологические переходы. Инвестиции в создание завода составили 62 млн евро, 22 из которых — собственные средства материнской компании ЗАО «Связь инжиниринг», а еще 40 млн евро — долгосрочный экспортный кредит крупного чешского банка под гарантии чешской государственной страховой компании. Планируемый годовой оборот завода составляет 25–30 млн евро; по предварительным оценкам, инвестиции должны окупиться в течение 5,5 года.

Первоначально предполагалось выпускать на предприятии крупные серии печатных плат, однако в процессе проектирования задача была скорректирована. Завод будет изготавливать прототипы и мелкие серии двусторонних и многослойных (до 25 слоев) плат широкой номенклатуры и высокой степени сложности — не ниже 6-го класса точности по российской классификации (или 10-го класса по европейской). Как говорит Михаил

Крылов, интересней сделать одну сложную и дорогую плату, чем тысячу простых и дешевых. Эта ориентация полностью соответствует актуальной сегодня задаче импортозамещения, поскольку до последнего времени практически все платы высокого класса точности закупались за рубежом. Основными конкурентами завода будут производители из Юго-Восточной Азии и Европы, однако в сравнении с ними у предприятия есть несколько важных преимуществ. Помимо высокого качества продукции, это прежде всего малый срок обработки заказа за счет оперативного взаимодействия специалистов завода с заказчиками и разработчиками изделий, новейшие системы контроля качества, быстрота изготовления и доставки продукции конечному потребителю и расположение в особой экономической зоне «Дубна», предоставляющее заводу дополнительные льготы. Заложенная в проект гибкость производства позволяет выполнять заказы в кратчайшие сроки и легко осуществлять перестройку технологии при появлении у заказчиков новых потребностей.

Завод располагается на участке площадью 2,4 га. Площадь научно-производственного корпуса 12000 м<sup>2</sup>, максимальная потребляемая мощность 2,5 МВт, расход воды — 140 м<sup>3</sup>/сутки. Проектная мощность завода — 55000 м<sup>2</sup> плат в год, из них 30000 м<sup>2</sup> многослойных плат



Производственный корпус завода



Генеральный директор Михаил КРЫЛОВ

и 25 000 м<sup>2</sup> двусторонних. Планируется обрабатывать 100 заказов в день, в том числе 50 новых. Предусмотрена возможность производства многослойных плат с глухими и скрытыми переходными отверстиями, гибких и гибко-жестких печатных плат, плат на металлическом основании и на СВЧ-диэлектриках. В основном будут использоваться два типоразмера заготовок: 610×533 мм и 610×457 мм — такая стандартизация необходима для эффективной автоматизации производства. Кроме того, для изготовления дорогих СВЧ-плат с применением ручного труда будут использоваться заготовки меньшего размера — 305×457 и 305×228 мм (их доля в продукции завода составит около 0,1%). Оборудование позволяет работать с платами толщиной от 0,5 до 4 мм с толщиной слоев от 0,086 до 1,5 мм. Минимальный диаметр отверстий — 0,1 мм, допустимое отношение минимального диаметра отверстия к толщине платы для отверстий диаметром менее 0,2 мм — 1:6, для отверстий диаметром более 0,2 мм — 1:10.

Минимальная ширина проводник/зазор при использовании фольги толщиной 9 мкм составляет 75/75 мкм, 12 мкм — 100/100 мкм, 18 мкм — 125/125 мкм. В качестве финишного покрытия может применяться горячее лужение, иммерсионное золото с подслоем никеля или палладия и никеля, иммерсионное олово и гальваническое золото.

Ориентация на выпуск как сложных прототипов, так и дешевых серий плат предопределила внедрение двух технологий — комбинации позитивного и негативного (тендинг) процессов. Для позитивной технологии приобрели вертикальную химико-гальваническую линию гонконгской компании PAL, для негативной — горизонтальную линию с прямой металлизацией без палладия и горизонтальным омеднением германской компании Atotech (первую в России). Преимущества негативной технологии — короткий технологический процесс (цикл металлизации сокращается на 30–40%), меньшее количество переходов между операциями, более равномерный

гальванический осадок и отсутствие этапов нанесения и снятия металлорезиста. На горизонтальной линии Atotech применяется прямая полимерная металлизация — процесс относительно недорогой и довольно-таки простой в плане контроля. Линия обеспечивает высокую производительность благодаря использованию плотности тока до 10 А на дециметр, что по сравнению с предельным током 2 А на вертикальных линиях является значительным увеличением. В DES-линии (осуществляющей проявление фоторезиста, кислотное травление и снятие фоторезиста) предусмотрено два травильных модуля и модуль прерывистого травления для компенсации «эффекта лужи». Регенерация кислотного травильного раствора осуществляется системой шведской компании SIGMA — это первая такая установка в России и первая в мире по производительности: 20 кг меди/ч. Установка поддерживает постоянное качество травильного раствора и таким образом обеспечивает постоянный режим травления. По предварительным оценкам,



Заместитель генерального директора — технический директор Андрей ЖИГАЧЕВ

75% продукции завод будет выпускать по негативной технологии.

Позитивная технология — прецизионная, она сложнее, но позволяет работать с тонкими заготовками, выполнять заполнение глухих отверстий, а также изготавливать платы с большой толщиной меди. На этой линии используется химическое омеднение. Производительность SES-линии (снятие фоторезиста, щелочное травление и снятие металлорезиста) ниже, чем у DES-линии, но и плановая нагрузка на нее значительно ниже. Постоянство щелочного травильного раствора обеспечивает система регенерации германской компании Schmid Premium производительностью до 6 кг меди/ч.

Для нанесения рисунка установлены две машины прямого экспонирования производства швейцарской компании Printprocess с четырьмя головками каждая. Прямое экспонирование позволяет избежать затрат финансов и времени на изготовление фотошаблонов, а также

связанных с ними дефектов. Установки отличается высокая скорость, что очень важно в условиях большого количества заказов, высокая разрешающая способность, масштабирование рисунка с учетом усадки заготовки и онлайн-совмещение рисунка со сверловкой на каждой плате. По словам Сергея Росинкина, в предварительных экспериментах после проявления удавалось воспроизводить с хорошим качеством даже проводники шириной 40 мкм.

Нанесение паяльной маски осуществляется методом распыления на установке, изготовленной компанией ИТС (Германия). Цикл нанесения маски вместе с подсушиванием и охлаждением занимает 15 мин, рабочая скорость — около 1,5 м/мин. Объем емкости для краски достаточен для непрерывной работы в течение дня. Для термодубления паяльной маски используется конвейерная конвекционная печь той же компании ИТС, которая может работать с печатными платами толщиной от 0,1 до 5 мм.

На этапе сверловки используется уникальная система «Куб» производства немецкой компании Schmolz: шесть небольших одношпиндельных сверлильных станков, объединенных с тремя загрузчиками единой системой передачи заготовок. Они управляются одним оператором, и на каждом станке можно выполнять свою программу. Сверление маски после прессования выполняется на станке с рентгеном. Установка контролирует смещение каждого слоя, комплекс анализирует смещение слоев друг относительно друга и производит сверление базовых отверстий, обеспечивая максимальную величину гарантийного пояса. Далее заготовки поступают на обычные сверлильные станки, устанавливаются на эти базы, и выполняется сверление основного массива отверстий.

На участке сверловки есть и двухшпиндельные станки, помимо сверлильного оборудованные еще и фрезерным шпинделем. Это позволяет изготавливать платы с металлизированными торцами за одну установку на станок, а также делать платы с сопряжениями



Ведущий технолог Юрий ОХВАТ



Гальванический зал производственного корпуса

и зенковкой до металлизации. Максимальная частота вращения шпинделей 250 000 об./мин, что позволяет сверлить отверстия диаметром от 75 мкм и выше.

При изготовлении многослойных печатных плат слои с конвейера попадают в чистое помещение (8–9-го классов по российскому стандарту), где из них собирают пакеты и перевозят через тамбур на прессование. Общая площадь помещений 8-го класса составляет 550 м<sup>2</sup>, в них осуществляются операции нанесения фоторезиста, экспонирования фоторезиста, изготовления шаблонов и экспонирования паяльной маски, а также сборки пакетов перед прессованием. После сборки пакеты поступают в систему прессования WorkCell германской фирмы Burkle, состоящую из двух горячих и одного холодного прессы. Один из горячих прессов обеспечивает в прессовом пакете температуру до +380 °С (стандартные прессы — до +250 °С). Таким образом, можно осуществлять прямое прессование фторопластов и других тугоплавких материалов.

Особое внимание уделяют на заводе контролю качества на всех этапах производственного цикла с помощью самой современной контрольно-измерительной аппаратуры. Платы проходят автоматизированный оптический и электрический контроль и полный цикл испытаний по ГОСТ Р 55693-2013 и IPC-6012. Используемая система менеджмента качества сертифицирована и отвечает всем требованиям Международной ассоциации органов по сертификации IQNet и стандартов МС МСО 9001, ГОСТ Р ЕН 9100 и ГОСТ ISO 9001.

Для ускорения работы с заказчиками установлена бельгийская пре-CAM-система InSight, которая позволяет коммерческой службе генерировать отчет без обращения в САМ-департамент. Система InCAM с высоким уровнем автоматизации сводит к минимуму роль человеческого фактора, что в конечном счете ведет к повышению качества готовой продукции. На всех этапах техноло-

гического процесса установлены терминалы контроля, которые позволяют менеджерам оперативно отслеживать прохождение заказов по производству. В зависимости от сложности и стандартности плат используется автоматическая генерация сопроводительных паспортов для производства.

Для автоматизированного управления производственными процессами на заводе вне-



Горизонтальная гальваническая линия

дрены две ERP-системы: специализированная иностранная, предназначенная для управления производством печатных плат, и российская «1С: Управление производственным предприятием», внедрением которой занимается компания «Раздолье». «Иностранная система, — говорит Андрей Жигачев, — останавливается на моменте создания маршрутной карты и спецификации, она не умеет планировать и тем более учитывать российские стандарты описания, получения со склада, расчета себестоимости продукта, поэтому мы работаем с системой «1С», которую очень серьезно и глубоко интегрируем с иностранной программой».

При обсуждении впечатлений от экскурсии и доклада участники конференции оценивали проект весьма положительно. Некоторые сомнения возникли относительно того, удастся ли полностью обеспечить заказами столь мощное и сложное производство; отмечалась также высокая зависимость производства от зарубежных поставок материалов и растворов. И если в отношении загруженности заказами руководство завода настроено вполне оптимистично, то опасения в плане зависимости от поставщиков воспринимает вполне серьезно. Михаил Крылов говорит: «Наш завод собран из импортного оборудования, работает на импортных материалах, на импортной химии. Да, продукцию мы выпускаем в России, и этим гордимся. Но вопрос импортозамещения на уровне базовых материалов стоит очень остро».

В ближайших планах завода — к началу следующего года постепенный выход на проектную мощность и работу в три смены. В плане технологического развития — подготовка к выпуску плат со встроенными компонентами — как с дискретными активными, так и с дискретными и формируемыми пассивными компонентами (тонкопленочные резисторы, конденсаторы и индуктивности). Планируется также организовать выпуск плат с толстой медной фольгой внутри (с внутренними радиаторами) и дополнить производство участком монтажа и изготовления трафаретов.

*Репортаж подготовил  
Юрий КУРОЧКИН*



В сверлильном цеху



Рабочий момент конференции



Оптическая инспекция плат



Система электрического контроля плат с летающими щупами

# «Контрсанкции» — тактика и стратегия поведения на рынке контрактного производства электроники

**ЗАО «НПФ «Доломант» уже более 15 лет работает на рынке контрактной разработки и производства высоконадежной отечественной электроники для ответственных применений и успело себя зарекомендовать как одно из самых дальновидных предприятий страны. Опыт не просто выживания, но развития в самых тяжелых условиях согласился поделиться Вадим Лысов, коммерческий директор компании.**

*— Год работы в условиях санкций — что изменилось? Структура заказов, их стоимость, число заказчиков, проблемы с комплектацией?.. В условиях повышения курса валют наблюдается ли приток заказчиков, ранее работавших с зарубежными производителями?*

— Изменилось многое. Достаточно вспомнить финансовый шторм, разразившийся в конце 2014 года, чтобы осознать, какой натиск внешних условий выдержали компании, работающие с долгосрочными, длящимися полугодиями и годами сложными крупными проектами. «Доломант», сделавший давно ставку именно на такие проекты, тоже не оказался в штилевой бухте. И тем более приятно отметить, что ни один из начатых проектов не был даже приостановлен. Это очень серьезный показатель устойчивости предприятия; надеюсь, мы сумели заработать высший балл в «маркетинговой оценке». Балл, который рано или поздно, но даст возможность достойно обменять его на новые кооперации, найти новые стороны взаимодействия с постоянными заказчиками, партнерами. «Доломант» давно не работает на сиюминутный финансовый результат: стратегическое партнерство, крупные, имеющие перспективу развития на несколько лет проекты стали основным приоритетом компании. Такая позиция оправдана и в «теории», и на «практике» и приносит свои плоды даже в тот не очень большой промежуток времени, в который укладывается история «Доломанта». Пятнадцать лет — это молодость компании, не без основания претендующей на звание лидера среди высокотехнологичных компаний по разработке и производству электроники ответственного применения в России.

Но вернемся к изменениям за истекший период.

1. Структура заказов не успела претерпеть существенных изменений, это слишком инерционный процесс. Заделы разработчиков и принятые программы в электронике ни за месяц, ни за год не изменить. Декоративные правки, безусловно, применялись: замена компонентов на аналоги, более доступные на рынке, некоторое снижение требований к компонентам, не оказывающим существенного влияния на потребительские качества изделий. Но если говорить о структуре в целом — внешне ничего не произошло.

2. Безусловно, у заказчиков возникли серьезные проблемы с финансированием своих серийных проектов и заделов по ОКР: стоимость импортных компонентов и материалов жестко привязана к валюте, и никто не рассчитывал на такие серьезные пересмотры бюджетов. То, что «Доломант» принял решение заморозить стоимость своих услуг за счет снижения собственной рентабельности и повышения эффективности работ, компенсировать двукратный рост стоимости комплектующих никак не могло. В структуре цены готового изделия, даже если не учитывать затраты на его разработку и доведение до серии, не принимать во внимание маркетинговые затраты нашего заказчика, соотношение работ к комплексу «компоненты + материалы + работы» составляет от 5 до 30% и определяющего влияния на ценообразование не оказывает. Однако наше решение о заморозке было очень позитивно встречено партнерами. Будем надеяться, что такие шаги в трудных ситуациях — это очередные «баллы» для победы в долгосрочном соревновании.

3. Количество заказчиков. Я бы не стал мерить этот параметр «в штуках», мы не розничный магазин. Гораздо важнее качество кооперации. С кем, с какими проектами и какой глубины ведется работа над изделием. Может показаться на первый взгляд парадоксальным, но качество партнерства за истекший год изменилось в лучшую сторону. Драйвом для этого послужили и наши наработки в предыдущий период, и эффект консолидации «сильных с сильными» в момент кризиса. И это несмотря на то, что часть наших заказчиков понесла очень чувствительные финансовые потери, вплоть до сворачивания некоторых программ, о чем я уже говорил.

4. Проблемы с комплектацией. Вот это — первый серьезный вопрос, который я бы отметил, и, пожалуй, определяющий на сегодня «лицо» кризиса современной российской электроники ответственного применения. Это тема вообще отдельного исследования, и в рамках данного материала можно только ее обозначить:

а) Не все проекты требуют компонентов, попавших в разряд запрещенных или сложнокупаемых. Например, «Доломант» в своих серийных изделиях использует вполне доступные компоненты индустриального класса и решает задачи применения изделий в сложных условиях эксплуатации не только за счет самих комплектующих. Это — правильный путь, хотя многие разработчики в годы «вседозволенности» про него забывали и с удовольствием пользуются все новыми, более сложными компонентами без оглядки на возможные последствия. К сожалению, так происходит не только из-за увлеченности, азарта или простоты решений: производители приучают весь мир к быстрой смене поколений компонентов, делая «старые» просто недоступными на рынке. Единой правильной рекомендации, как себя вести в таких условиях, нет. Пожалуй, кроме одной: чтобы выживать и побеждать,

компаниям-разработчикам необходимо наращивать свою главную компетенцию — коллективы сильных профессионалов. Только так можно динамично реагировать на возникающие ситуации и обходить конкурентов.

б) Проекты, в которых заменить попавшие под санкционные запреты компоненты быстро не удастся, получили серьезный удар, некоторые даже приостановлены. Естественно, прямых рекомендаций «как надо было» и тут нет. Что делать? Продолжать работать, увеличивать объем НИР и ОКР. Сегодняшний кризис преподнес болезненные, но полезные для тех, кто умеет учиться, уроки. Но рано или поздно кризис завершится. Верить в полную изоляцию отечественной отрасли электроники от мировой и вести бизнес соответственно означает очень серьезный возврат в прошлое и самоизоляция, которую с трудом, я бы сказал — с надрывом, преодолевали последние десятилетия после развала советской модели отрасли, добившись серьезных прорывных успехов.

Другой аспект этой проблемы — импортозамещение на уровне элементной базы — рассмотрим ниже.

— *«Доломант» заказывает печатные платы в Южной Корее, на этот продукт санкции пока не распространяются. Но как вы смотрите на попытку попробовать размещать заказы все-таки в России, например, на недавно открывшемся заводе «Связь Инжиниринг» в Дубне? Есть ли такие планы?*

— Компания «Доломант» не ангажирована нашими корейскими партнерами, мы не связаны обещаниями и декларациями, не аффилированы ни в одну из общих структур. Заказывать ПП на одном из лучших мировых заводов по платам в Южной Корее — это бизнес-решение. Южнокорейское предприятие, имеющее, кстати, часть заводов и на территории КНР, оказалось в свое время самым удачным нашим партнером. Стабильным, внимательно относящимся ко всем нестандартным с точки зрения мировой практики требованиям. Правда, не самым дешевым. Но мы и не мечтаем в поисках временных выгод и случайных связей. Цена ошибки на ПП многократно растет по мере продвижения изготовления изделия к финишу и стократно — во время эксплуатации у конечного потребителя. Снова простейшая арифметика: стоимость ПП в готовом изделии, даже не считая затраты на НИР, ОКР и маркетинг, редко превышает 5%. Соответственно, если ПП рискованного поставщика даже на 30% меньше проверенных, это всего лишь 1,5% экономии в общей структуре цены изделия. А стоимость убытков при реализации риска может составлять 1000% и более.

Что еще важно. С корейским предприятием у нас много общего в плане понимания, что такое «качество, надежность, работа с рекламациями». Более того, это единственное из действительно крупных и известных в мире пред-

приятий по изготовлению ПП с готовностью выполняет работы по удовлетворению критериев наших, пусть и устаревших, но все еще довлеющих в документальной сфере ГОСТов. Вплоть до составления таблиц соответствия рекомендаций IPC600 для ПП Class 3 и нашего ГОСТа 1979 года. При необходимости корейская компания готова проводить дополнительные (ненужные ей и качеству продукции) измерения и испытания, чтобы по нашим заявкам удовлетворить специфические требования российского ГОСТа. Согласитесь, такое взаимодействие не может быть не оценено нами и нашими потребителями.

Справедливости ради отмечу, что мы работаем не только с южнокорейской компанией по ПП. Да, они основные партнеры по сложным и серийным поставкам, но по макетированию и поставке более простых плат, где соотношение «стоимость ПП/стоимость изделия» достигает 10% и более, а риск фатального проявления брака или отклонений не столь велик, мы работаем и с другими производителями.

Что касается отечественных производителей ПП. Не хотелось бы проводить антирекламу, но через наше производство проходят десятки и сотни плат, получаемых от заказчиков в виде давальческого сырья, и анализ получается достаточно репрезентативный. Не буду вдаваться в цифры статистики, скажу лишь одно: если бы «Доломант» вдруг принял волевое решение работать на отечественных ПП, нам пришлось бы либо разориться, либо поднять стоимость своих работ и конечных изделий в несколько раз, чтобы компенсировать убытки такого «волевого решения».

Когда появляется возможность — мы тестируем новых поставщиков, не делая исключения для отечественных. Более того, общая политическая ситуация сегодня подсказывает, что при прочих равных работать с отечественным производителем имеет смысл. Акцентирую внимание на сочетании «при прочих равных условиях» — в основном по качеству и надежности. Пока «равных» не набралось ни одно предприятие в России, если речь идет о сложных типах ПП, которые мы в основном и используем.

Несколько слов о заводе в Дубне, который любезно предоставил возможность посетить его. С большим уважением отношусь к грамотности специалистов, его спроектировавшим и выбравшим технологии, к энергии тех, чьими усилиями проект воплотился в красивый завод, к финансовым структурам, не побоявшимся вложить немалые средства в этот проект. Потенциально, по составу оборудования, это предприятие может стать одним из лучших в России. Когда? И на каких заказах, проектах будет наработываться технология и специалисты? Пожалуй, важнейший вопрос. Я не уверен, что среди наших клиентов и партнеров найдутся желающие на себе проводить эксперименты только из патриотических соображений. Да и в самом деле, настолько долго им не удастся «проводить эксперимент»: один рухнувший проект или несколько проектов могут просто похоронить заодно и экспериментатора.

В этом я вижу главную проблему любого нового высокотехнологичного, ресурсоемкого производства. Если удастся преодолеть «болезнь взросления», достичь стабильности по качеству и условиям поставок предприятиям — не только «Доломант», многие компании станут постоянными клиентами этого завода. Да, вероятно, будем периодически тестировать и пробовать размещать не критичные заказы для собственного макетирования. Появится уверенность в удачном сотрудничестве (а это шире, чем несколько раз удачно купить ПП по хорошей цене приемлемого качества) — значит, будем работать вместе! Искренне желаю успеха таким предприятиям на общее благо и страны, и компании «Доломант» в частности.

— *Как специалисты «Доломанта» оценивают перспективы импортозамещения в компонентной базе?*

— Неудобный вопрос! Приходится подбирать дипломатичные выражения в ситуации, которая этому не благоприятствует. Главное — за последние десятилетия отечественные производители комплектующих не смогли (да это объективно понятно и обоснованно) выйти по номенклатуре и качеству производства даже на уровень не самых сильных заводов в КНР. Причины? Без объяснений, и без них очевидно почему. На слабую производственную базу изготовителей компонентов навалился и сегодняшний кризис с санкциями. Итогом стал не бурный рост и развитие, а переполнение заявками, выполнить которые предприятия просто не в силах. Не только выполнить — ответить на запрос! У нас скопились заявки и обращения, на которые мы не можем получить ответ никакими усилиями — ни по телефону, ни факсимильной связью, ни почтовыми запросами с квитанцией о доставке. По поводу большинства отечественных изделий есть два стандартных ответа: «срок поставки от 1 года» и «стоимость, условия и возможность поставки уточняется».

Да, есть и исключения, в целях соблюдения «рекламных ограничений» не стану называть компоненты и компании, их разрабатывающие и поставляющие. «Доломант» с ними работает, мы очень надеемся на совместный успех. Но ведь готовое изделие означает, что оно скомплектовано и выполнено на 100%. Даже 99%-ая «комплектность» не даст возможности его использовать!

Итак, попробуем сформулировать ответ на вопрос. Успех импортозамещения зависит от многих факторов, это не простейший рецепт из нескольких ингредиентов, и относиться к данному понятию необходимо очень внимательно, четко определяя сущности. Будет ли вообще развиваться электронная промышленность России во время и после санкционных ограничений, будет ли действовать программа административного бездумного пересаживания всех и вся на «отечественные автомобили», то есть применения российских аналогов компонентов вместо стандартных импортных? Или, наконец, станет понятно, что «своим» надо иметь как минимум крити-

ческие аналоги комплектующих (для особого применения), а в идеале — превосходящие зарубежные аналоги. Что важнее и где риски оправданней: иметь своих разработчиков компонентов и заказывать их изготовление в любой точке развитого мира или все (тогда уж — включая и материалы для изготовления, что практически неподъемно в сегодняшней реальности) переводить в режим «натурального хозяйства»?

Пока вести речь о реальном, «глубоком импортозамещении» не приходится. Более того, в тучные времена производителям компонентов и смысла нет вкладываться в развитие по аналогии с известной «сырьевой парадигмой» России. Зачем, если и так все в очереди стоят?! Частных заводов, которые строят именно бизнес, и бизнес стратегического характера, практически нет, а государственные и «почти государственные» никогда не ставили своим приоритетом развиваться — они управляются «административно, по указанию вышестоящих», как правило, временными управляющими, не доверяющими собственному удачному будущему. Я утрирую картину специально: есть примеры и удачных решений, и попыток переломить ситуацию, но пока на рынке комплектующих эти усилия практически незаметны, как незаметны и результаты. Пожалуй, это самый крупный провал реформ в нашей отрасли. Появились и трудятся классные разработчики, программисты. Появились, хотя и в недостаточном для страны количестве, монтажные, сборочные производства, и на этом фоне особенно заметно отставание производства комплектующих.

**— Наблюдаются ли какие-то действия государственных органов с целью поощрения отечественных производителей в области электроники?**

— Если читать источники «официальной информации» — конечно! Если смотреть серьезнее, поощрение — не очень хорошее понятие для одной из ведущих отраслей в мире. Это же не мотивация ученика, неожиданно выучившего стихок, — поощрить хорошей оценкой. Государство, если ему требуется сильная собственная отрасль, должно поддерживать спрос (по поводу поддержания спроса массовым бытовым рынком я не стану пояснять; в условиях сегодняшней России

это, во-первых, невозможно и, во-вторых, не нужно) и, самое главное — выполнять свои обещания в части крупномасштабных проектов, затрагивающих электронику. Мало кто верит в долгосрочные государственные проекты, и тоже понятно почему. Значит, государство должно ломать сложившиеся стереотипы, заставить поверить в себя, заработав репутацию безупречного делового старшего партнера. Пока этого не случится — велика вероятность, что в отрасли будет царить «сиюминутность и неуверенность». То есть, если можно обернуть проект за год-два, максимум за пять лет, — найдутся желающие рискнуть. Но и сразу выйдут из игры, как только возьмут куш или почувствуют изменения в худшую сторону. Это — «брокеры на бирже производств». Имеют право на существование, но только когда есть мощная база стабильных, уверенных производств. Пока такой картины — устойчивых технологических развивающихся производств — в стране не видно. Страна большая, потребности огромные, и те точки роста, о которых много говорили и для развития которых мало делали, в масштабе просто теряются на наших просторах.

И еще. Это относится не только к электронике, а наблюдается повсюду. Колоссальный, потрясающий дефицит профессионалов стратегического планирования, тактического управления промышленностью. Много умных слов, лозунгов, фейерверк «комитетчиков» на самых разных уровнях, включая высшие органы управления, и хорошо бы, если бы только нейтральные, но ведь есть просто саботажно-вредительские «законотворческие инициативы» людей, крайне далеких от производственной действительности. Разрыв между «пропагандой и призывами» и действиями даже не трагичен — это уже почти комедия. Если бы еще это происходило не с нашей страной — все было бы очень весело и смешно.

Тема болезненная, так ее видим и ощущаем не только «мы тут внутри», на это указывают специальные «оттуда» — нам, предупрекая самосваливание промышленности к худшим из моделей управления в СССР. Поощрять (вот где правильно применить это неудобное понятие!) безвольные, неэффективные «пригосударственные» структуры в ущерб отрасли, давя по пути инициативные бизнес-решения и инвесторов, готовых вкладываться в реальный сектор экономики высоких технологий, — вот сегодняшний подытог активной деятельности непрофессионалов. В ежемесячном отчете одного из американских фондов, входящих в общую систему анализа мирового конкурентного состояния экономик, появилась идея «снять все санкции с поставок хай-тек в Россию». По мнению безымянного аналитика, «это еще быстрее бы завело Россию в тупик неэффективного использования ресурсов в силу особенностей управления хозяйством». Жаль, в этом много правды и риск разыграть такой сценарий неприлично высок.

**— Изменилась ли сама стратегия развития компании в новых условиях?**

— Быстроменяющаяся стратегия таковой не является по определению! Стратегия не изменилась: компания продолжает делать многое, чтобы закрепиться на своих позициях ведущего предприятия по разработке и производству электроники ответственного применения для жестких условий эксплуатации. Что входит в понятие «делать многое»? Вполне конкретные мероприятия: поиск и внедрение самых современных технологических решений в части наших сегодняшних компетенций, поиск и внедрение новых технологий, инженерных производственных решений, освоение смежных технологий, которые позволят производству участвовать в новых проектах, с охватом более широкой зоны ответственности за итог. Задача привлечения нового и удержание имеющегося богатства — кадрового ресурса производства и управленцев в условиях нестабильного рынка трудовых отношений. Есть конкретные задачи, планы, этапы, сроки и ответственные за их выполнение.

Тактически же, конечно, предприятие реагирует на ситуацию, иначе бы ее бывшим сотрудникам оставалось только писать «теории на бумажке!» Объемы и скорость инвестиций, критический анализ потребностей рынка в услугах и технологиях. Анализ потенциальных вертикальных рынков — для кого мы собираемся производить, и особенности этих потребителей, отраслевые требования, финансовые перспективы. Оценка рисков несостоятельности в долгосрочных проектах (по разным причинам, не только финансового плана), оценка рисков стать производством для нескольких крупных, поглотивших разом все ресурсы производства заказчиков, и риск просмотреть, своевременно не включиться даже за свой счет в перспективные проекты. Аспектов множество: все, кто работает в этой области, легко дополнят или переставят «акценты значимости».

В заключение скажем так: предприятие «Доломант» родилось в кризисные двухтысячные, фактически став вызовом ситуации, при которой мало кто верил в бизнес-модель реального высокотехнологичного производства не массовой электроники в России. Сложный период 2008–2009 гг. предприятие использовало для серьезной модернизации, что тоже являлось вызовом для тех, кто измеряет глубину планирования не далее 1–3 лет. Сегодня снова кризис. Надеюсь, очередной вызов станет новой ступенью развития компании. О том, сбудется ли эта надежда, можно порассуждать через три-пять лет, а пока — надо работать и преодолевать трудности! Естественно, в одиночку наша компания не может жить, поэтому желаю успешных решений и удачных проектов всем партнерам, клиентам, смежникам и конкурентам. ■

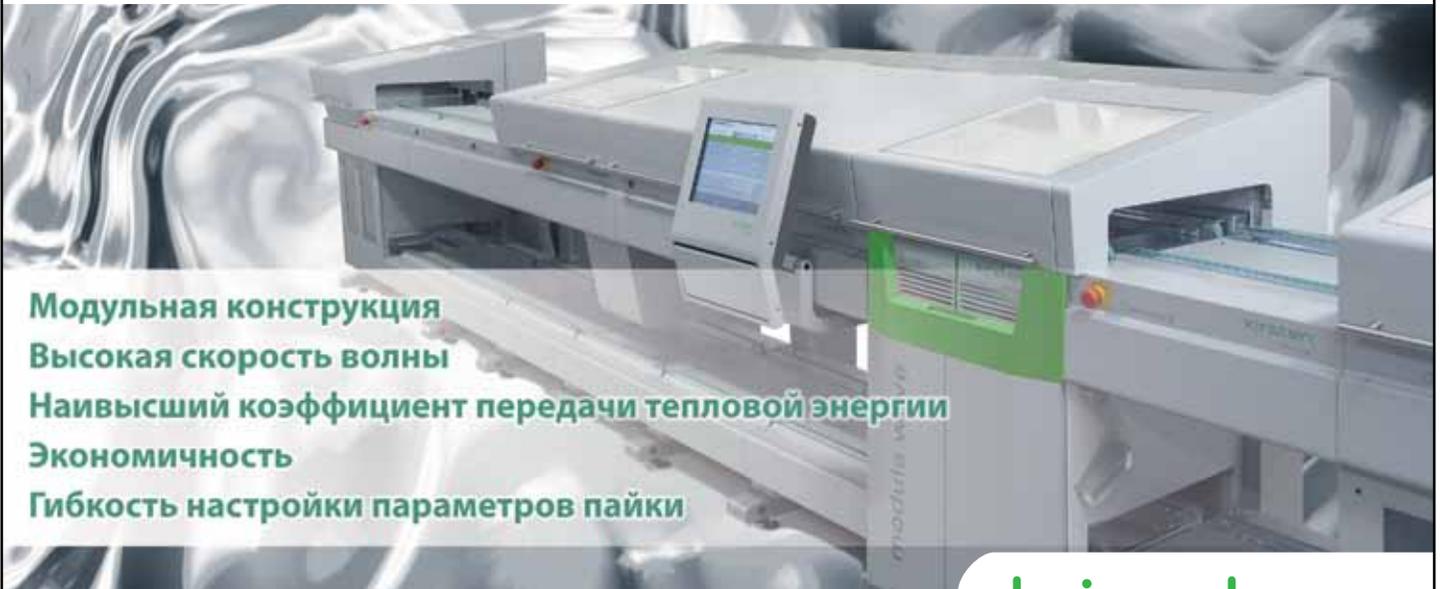
*Интервью подготовил  
Константин ПРИЛИПКО*



**НЭК**  
**ПОСТАВКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**  
630020, г. Новосибирск, ул. Окружная, 29В  
тел. +7 383 274 47 70  
факс +7 383 274 47 80  
www.nec-nsk.ru order@nec-nsk.ru pcb@nec-nsk.ru

## УСТАНОВКА ПАЙКИ ВОЛНОЙ THE MODULA WAVE

**absolut**  
ELECTRONICS



Модульная конструкция  
Высокая скорость волны  
Наивысший коэффициент передачи тепловой энергии  
Экономичность  
Гибкость настройки параметров пайки



[www.absolutelectronics.ru](http://www.absolutelectronics.ru)  
(812) 380-95-97

**kirsten**  
soldering ag

Реклама

## Экономия материала и снижение расходов

## благодаря дозирующим клапанам Nordson EFD



Распыление растворителей  
или жидких флюсов

Нанесение материалов  
различной вязкости

Дозирование жидкостей с  
твердыми наполнителями

Легко регулируемые, точные дозы  
даже самых жидких материалов

Nordson EFD производит целую палитру дозирующих клапанов для аккуратного, точного и стабильного дозирования любых жидкостей, используемых в процессе сборки. Если Вам необходима консультация, позвоните в Nordson EFD.



Отсканируйте штрих-код для получения бесплатного каталога.

Тел.: +7 (499) 519-319-0 [russia@nordsonefd.com](mailto:russia@nordsonefd.com) [www.nordsonefd.com/ru](http://www.nordsonefd.com/ru)

**Nordson**  
EFD

Реклама

# Контрактное производство электроники в России

**Контрактное производство электроники — особый вид аутсорсинга, при котором изготовление различных электронных устройств делается на заказ на базе независимого контрактного производителя электроники (подрядчика), при этом все работы по согласованию заказа и выпуску электронных устройств ведутся одним подрядчиком. Слово «контракт» в данном случае используется для того, чтобы подчеркнуть особые отношения между заказчиком и подрядчиком.**

**Максим Кулюкин**

m.kulyukin@micro-c.ru

Объем обязанностей может быть поделен между заказчиком и подрядчиком произвольным образом, кроме того, к процессу производства электронных устройств может быть привлечена третья сторона, которая занимается разработкой, поставкой комплектующих, специальным тестированием.

Заказчик предоставляет конструкторскую документацию (также возможна поставка комплектующих) для электронного устройства, которое хочет получить, а подрядчик берет на себя ответственность за технологическую сторону процесса, реализацию идеи заказчика, разработку электронных устройств, поставку печатных плат, электронных компонентов и технологических материалов, монтаж печатных

плат, тестовые проверки продукции, логистику, утилизацию и т. д.

В рамках контрактного производства может создаваться как самая простая с точки зрения технологии, так и сверхсложная (когда конструкторы, технологи, разработчики работают с ней на протяжении всего жизненного цикла) продукция.

Основными этапами производства электроники по контракту являются:

- разработка электронного устройства, создание проекта и конструкторской документации (основная задача заказчика);
- подбор и поставка электронных компонентов (этот и все остальные этапы реализует производитель);



Рисунок. Линия поверхностного монтажа печатных плат

- монтаж печатных плат (ручной или автоматический монтаж, рисунок);
- сборка изделия и его испытания.

В настоящее время контрактное производство может осуществляться двумя типами:

1. Производство по ограниченному циклу: выполнение отдельных технологических операций различными производителями и все вопросы по заказу компонентов, печатных плат, разработке электронных устройств, связям с производителями, складированию и транспортировке заказчик решает самостоятельно. В этом случае, с одной стороны, обеспечивается четкое соответствие требованиям заказчика на каждом этапе выполнения заказа, с другой — возможны многочисленные накладки, связанные с несогласованностью или недостаточной координацией действий разных производителей.

2. Производство по полному циклу: один подрядчик полностью берет на себя процесс изготовления продукта, от разработки электронного изделия и поставки комплектующих до отгрузки готовой продукции заказчику. Этот вариант является более удобным и менее затратным и рискованным для заказчика, так как предполагает, по сути, лишь заказ продукции у подрядчика и получение ее. Такой тип услуг дает возможность получить нужное электронное устройство, а при необходимости доработки или обновления — обратиться к одному подрядчику, а не искать исполнителя на каждом этапе и заново распределять обязанности. Это комплексная услуга, в которую входит разработка электронных устройств, подготовка комплекта необходимой документации, производство печатных плат, поставка электронных и технологических материалов, монтаж печатных плат, сборка изделий в корпус, тестирование и упаковка. Можно сказать, что в настоящее время это наиболее выгодный вариант услуг по контрактному производству.

Контрактное производство электроники появилось в России в конце 1990-х гг. на базе военной промышленности СССР, ориентированной на создание электроники. Ближе к 2000-м годам производство электроники перешло из военного сектора в гражданский и стало осваивать новый рынок. Естественно, это происходило стихийно, и каждый производитель электроники стремился завладеть максимально широким сегментом новой области. В итоге те производители электроники, которым удалось в достаточной степени нарастить мощности, сформировать стабильную клиентскую базу и партнерскую сеть, сумели выйти на уровень среднесерийного производства электроники. Однако последовавший за этим период кризиса и стагнации (2005–2008 гг.) привел к тому, что благодаря изменениям в структуре данного сегмента, перераспределению клиентской базы, переориентации коммерческой и маркетинговой стратегии большая часть предприятий, работающих с электроникой, перешла на контрактную основу и заняла особое, нишевое по-

**Таблица 1.** Объем и рост российского рынка контрактного производства

Временной период	2011	2012	2013	2014
Общий объем рынка, \$ млн	116	157	204	249
Рост рынка контрактного производства	–	35	30	22
Общая стоимость услуг по комплектации, \$ млн	68	97	132	169
Общая стоимость производственных услуг контрактного производства, \$ млн	48	60	72	80
Рост общей стоимости производственных услуг контрактного производства, %	–	25	20	12

ложение на рынке контрактного производства электроники. Как утверждает В. Лысов [1], такая ситуация (выпуск определенных радиоэлектронных изделий, собранных для конкретного потребителя, партиями до 50 тыс. шт.) является нормальной для данного сегмента бизнеса в России (в отличие от серийного производства электроники в Юго-Восточной Азии), то есть самое адекватное положение производства электроники на российском рынке является нишевым.

По классификации В. Лысова, всех заказчиков, прибегающих к услугам контрактного производства электроники, можно разделить на четыре основные группы [1]:

- разработчики электроники (5–10% заказчиков): конструкторы, схемотехники, программисты, которым необходимо подготовить проект для серийного производства;
- предприятия, производственная деятельность которых составляет основу стратегической независимости и безопасности страны (40–60% заказчиков);
- владельцы коммерческих проектов, грамотно определяющие экономическую эффективность размещения заказов на внешних и внутренних площадках (20–30% заказчиков);
- организации, охраняющие собственные новейшие разработки от несанкционированного клонирования на неподконтрольных им производственных мощностях (10–15% заказчиков).

Как можно заметить, все эти группы заказчиков заинтересованы именно в производстве на контрактной основе (каждая по своей причине), а потому данный сегмент электронного производства в России является доминирующим и наиболее востребованным (табл. 1). Заказчик сам может определить все тонкости производства электронных изделий, которые

ему необходимы, и начать сотрудничать с тем подрядчиком, который сможет предоставить ему максимально выгодные условия (точность выполнения деталей заказа, время его исполнения, его стоимость и др.).

В связи с тем что определяющую роль при контрактном производстве электроники в России играет проект заказчика, особую значимость приобретают взаимовыгодные условия сотрудничества между ним и подрядчиком. Такие особенности, как ориентация на национальное производство электроники, разовые или нерегулярные заказы, нечеткое соответствие мировым стандартам в связи с гибким подходом к производству конкретного электронного изделия, способствуют тому, что на первый план в сотрудничестве выходит взаимопонимание разработчика устройства и его производителя, способность идти на компромисс в ценовой политике, умение подстроиться под постоянные изменения в конструкторской документации и составе комплектации. В подобных условиях огромную роль приобретает высокий профессионализм подрядчика, высокая степень его ответственности за реализацию проекта, его умение приспосабливаться к изменяющимся требованиям заказчика, наличие возможности проведения дополнительных тестовых испытаний, быстрой переориентации на производство другого электронного изделия, умение обосновать необходимость внесения изменений в конструкторскую документацию и много других подобных моментов. Таким образом, одной из важнейших характеристик контрактного производства электроники является высокий профессионализм подрядчика и широкая сеть контактов в этой сфере, которая помогает быстро и четко решать возникающие в ходе производства проблемы (табл. 2).

**Таблица 2.** Ведущие российские контрактные производители

Компания	Город	Объем продаж услуг КП в 2014 г., \$ млн	Доля заказов с услугами комплектации, %	Персонал, человек	Начало работы на рынке КП
Альтоника	Москва	18,4	90	200	2001
Эталон	Тверь	17,1	80	170	2005
Макро ЕМС	Санкт-Петербург	16,8	90	35	2007
Абрис-Технолджи	Санкт-Петербург	15,8	90	160	2004
ЮПЗ Промсвязь	Юрьев-Польский	13,8	50	800	2005
Пантес	Санкт-Петербург	13,2	90	120	2005
Доломант	Москва	11,8	75	170	2003
ЭРИКОН	Санкт-Петербург	10	70	100	2005
АЛТ Мастер	Москва	8	35	150	2004
Микролит	Москва	8	10	170	2004
Центрsvязь информ	Санкт-Петербург	8	30	150	2008
ЦТС	Калининград	8	90	1100	2010
Энфорсис	Москва	8	30	200	2010
Контракт-Электроника	Москва	7	100	22	2003

Таким образом, основными преимуществами контрактного производства электроники являются:

1. Индивидуальный подход к каждому заказу.
2. Гибкость в реализации проекта (разработка конструкторской документации, подбор компонентной базы, возможность внесения изменений, доработки).
3. Возможность сначала изготавливать электронные изделия небольшими партиями с постепенным наращиванием объемов производства.
4. Делегация заказчиком части полномочий подрядчику дает возможность сконцентрироваться на вопросах менеджмента и мар-

кетинга, зная, что технологическая сторона процесса находится в ведении специалистов высокого уровня.

5. Заказчик имеет право выбрать того подрядчика, с которым ему максимально выгодно сотрудничать, что положительным образом сказывается на стоимости изделия, сроках вывода изделия на рынок и качестве самого изделия.
6. Благодаря постоянному развитию сферы контрактного производства электроники у заказчика появляется доступ к новейшим технологиям, которые он может после предварительной апробации внедрить в собственное производство.

Подводя итоги, можно сказать, что контрактное производство электроники — перспективная и динамично развивающаяся сфера бизнеса, которая позволяет максимально удовлетворить потребности заказчиков и заставляет производителей постоянно искать новые технологические решения и «держаться в тонусе» для привлечения новых клиентов.

#### Литература

1. Лысов В. Контрактное производство электроники: альтернативы сотрудничеству нет // Печатный монтаж. 2010. № 3

## Автоматическое дозирование жидкостей от Nordson EFD: прецизионное дозирование + быстрое программирование



много быстрее, так как машину проще обучить и сразу же увидеть исполнение программы дозирования с учетом заданных параметров. Система обратной связи робота постоянно проверяет фактическое состояние для того, чтобы обеспечить полную управляемость в течение всего процесса дозирования. Презентовав новую серию PRO, EFD дает своим клиентам целую палитру новых опций и возможностей для дозирования».

Новые системы автоматического дозирования Nordson EFD были разработаны и сконфигурированы специально для применения в целях прецизионного дозирования жидкостей в сочетании с корпусами шприцов и клапанами Nordson EFD. Рабочая зона робота может иметь размеры 200×200, 300×300, 400×400 и 500×500 мм, что позволяет сделать выбор в зависимости от специфики изделий. А сами роботы могут быть использованы как в качестве отдельно стоящих станций дозирования, так и встраиваться как элемент автоматизированной производственной линии. Они легко интегрируются почти в любую линию сборки с транспортером или поворотным столиком.

В дополнение к системам серий PRO и PROL компания EFD также представила новые системы автоматического дозирования серий E и EV. Роботы серии EV имеют простую видеокамеру, служащую в качестве дополнительного инструмента во время настройки и программирования, а при программировании роботов серии E оператор работает на выносном пульте.

Специалисты Nordson EFD всегда готовы предложить бесплатную экспертную оценку в соответствии с особенностями конкретного материала и производственных задач. Обратившись в одну из технических лабораторий Nordson EFD, расположенных по всему миру, можно получить не только детальный видеоотчет о применимости того или иного оборудования в различных условиях, но и сравнительные данные для оценки текущего процесса дозирования.

[www.nordson.com](http://www.nordson.com)

Компания Nordson EFD представляет новую серию автоматических систем дозирования промышленных жидкостей, используемых в процессах сборки. В роботах серии PRO объединены машинное зрение и лазерный датчик с энкодером с обратной связью, что позволило реализовать полностью автоматическое решение, которое легко монтировать, программировать и эксплуатировать с наиболее качественным результатом дозирования.

Роботы-дозаторы серии PRO имеют встроенную камеру машинного зрения CCD, которая делает детальные снимки части изделия и конвертирует их в цифровые файлы с высоким разрешением — именно это позволяет существенно упростить программирование. Система машинного зрения интегрирована с новым программным обеспечением DispenseMotion от Nordson EFD, специально разработанным для прецизионного дозирования жидкостей.

Станция дозирования PRO4L (рисунок) дополнительно снабжена полностью интегрированным лазерным датчиком, который позволяет определить

возможные перепады высоты на поверхности обрабатываемого изделия и провести моментальную корректировку программы дозирования по высоте во избежание нестабильного дозирования, повреждения насадки или изделия.

Программное обеспечение DispenseMotion для роботов серии PRO, которое полностью интегрировано с системой машинного зрения и разрешает предварительно просмотреть процесс дозирования на мониторе, упростило настройку и программирование системы. Дозирующая насадка перемещается точно в то место, куда она должна попасть. Проблема импортирования и конвертирования файлов DXF, CAD или Excel также решена. Управление движением в трехмерном пространстве в режиме реального времени предоставляет возможность легко запрограммировать капли, линии, окружности, арки и сложные комбинации.

«Роботы-дозаторы Nordson EFD новой серии PRO могут «думать», — утверждает менеджер Nordson EFD Келвин Фернандез. — Программирование теперь осуществляется на-

# Проектирование принципиальных схем и печатных плат в программной среде Mentor Graphics PADS 9.5.

## Часть 7. Использование средств LineSim для определения причин нарушений и нахождения решений проблем целостности сигналов высокоскоростных печатных плат

**Одна из самых насущных задач для разработчика электронных систем — заранее проанализировать, насколько надежно будет сконструированная им электрическая схема работать при реализации ее на печатной плате — дойдет ли сигнал от источника к приемнику в нужное время и с нужным качеством (то есть задача оценки целостности сигнала на печатной плате). Это важно, поскольку чем раньше в цикле проектирования будут найдены и устранены проблемы, связанные с целостностью сигналов, тем меньше окажутся затраты на устранение этих проблем на этапах физического прототипирования и производства. В статье рассмотрены возможные нарушения целостности сигналов высокоскоростных печатных плат, причины их возникновения и инструменты программы LineSim для определения таких нарушений и нахождения решений проблем целостности сигналов при разработке быстродействующих устройств.**

Татьяна Колесникова

beluikluk@gmail.com

### Введение

Основной чертой развития цифровой техники в последние годы является повышение быстродействия. Этот факт ставит перед разработчиком электронных устройств ряд новых задач. Широкий спектр эффектов электромагнитной природы в межсоединениях печатной платы, который можно было не учитывать в проектах электронных средств предыдущего поколения, стал ключевым фактором для обеспечения правильного функционирования и высокой производительности перспективных цифровых систем. В современных условиях проблема взаимосвязи таких параметров, как быстродействие, потребляемая мощность, целостность сигналов, электромагнитная совместимость (ЭМС) и надежность, столь же актуальна, как и задача снижения площади кристалла для устройств предыдущего поколения.

Целостность сигнала стала необходимым требованием нормальной работы любого высокоскоростного цифрового устройства. Если не позаботиться об основных проблемах, связанных с целостностью сигнала (звон, перекрестные помехи, дрейбег «земли» и помехи по питанию), типичная высокоскоростная аппаратура откажется нормально функционировать уже на стадии макетирования или, что еще хуже, будет непредсказуемо либо ненадежно вести себя в эксплуатации.

Измерения целостности сигнала стали важнейшим этапом разработки цифровых устройств. В современных быстродействующих системах малая ошибка, например, на шине контроллера данных может распространиться на всю систему и вызвать сбой на последовательной шине ввода/вывода. На раз-

работчиках лежит ответственность за обнаружение и устранение подобных проблем во всей системе. Для этого нужен комплект мощных измерительных приборов с полосой частот и функциями автоматизации, позволяющими устранять искажения высокоскоростных сигналов. В число этих средств входят цифровые осциллографы, логические анализаторы, высококачественные пробники и программное обеспечение для анализа. Новейшие средства измерения, в частности прижимные пробники с высокой плотностью контактов, программное обеспечение для обнаружения джиттера (дрожания фронтов), объединенный просмотр данных логического анализатора и осциллографа, предназначены для того, чтобы помочь разработчику в выявлении неполадок, связанных с нарушением целостности сигнала.

Очевидно, что новые задачи, стоящие перед проектировщиками печатных плат, не могли не найти отражения и в развитии систем автоматизированного проектирования (САПР). Mentor Graphics PADS представляет собой пакет специализированных модулей, которые охватывают все этапы разработки печатных плат. В составе системы имеется модуль анализа высокоскоростных печатных плат HyperLynx, в который входит программа предтопологического анализа LineSim.

Предтопологический анализ включает предварительное исследование системы на наличие в ней проблем с целостностью сигналов, то есть исследование, которое проводится в то время, когда еще не известны точные геометрические размеры системы и точное взаимное расположение компонентов системы. Для проведения такого анализа в САПР предусмотрен набор стандартных элементов: линии передачи,

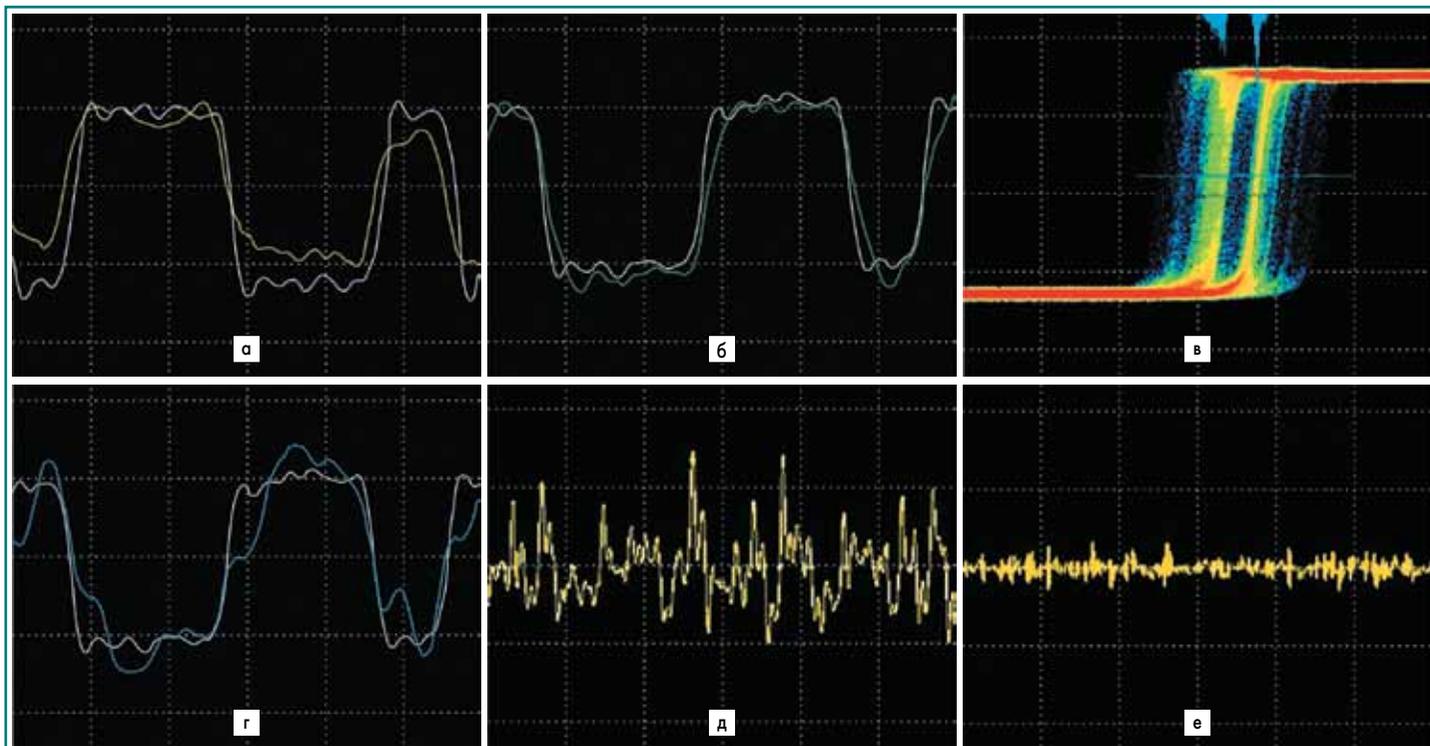


Рис. 1. Основные проблемы, связанные с целостностью сигнала:

а) нарушения амплитуды; б) искажения фронтов; в) нестабильность фронтов; г) отражения; д) перекрестные помехи; е) колебания в шине заземления

разъемы, сосредоточенные элементы (конденсаторы, катушки индуктивности, резисторы), переходные отверстия и так далее. Обычно предтопологический анализ выполняют для поиска проблем целостности сигналов в корпусах и печатных платах.

LineSim можно использовать для анализа цепей на целостность сигналов, перекрестные помехи и электромагнитную совместимость, что поможет еще до начала проектирования топологии оценить, как будут вести себя сигналы на плате. Данная программа позволяет представить печатный узел в виде эквивалентной схемы, микросхемы и дискретные элементы которой представляются соответствующими IBIS-моделями, а печатные проводники на плате — моделями линий передачи. Библиотеки компонентов LineSim содержат тысячи моделей.

LineSim позволяет нарисовать электрическую схему, задать параметры передающих линий и моделей компонентов схемы и запустить моделирование распространения сигнала. Располагая этим мощным средством, специалисты способны быстро обнаруживать сбои и проследить их вплоть до их источника. До недавних пор незамеченные нарушения целостности сигнала часто становились причиной задержки графика выпуска новых цифровых устройств и источником нарушений их надежности. Теперь разработчики располагают средствами решения самых сложных проблем, связанных с целостностью сигнала.

### Причины нарушения целостности сигналов на печатных платах быстродействующих устройств

Целостность сигналов — это наличие достаточных для безошибочной передачи качественных характеристик электрического

сигнала. Нарушение целостности сигнала неблагоприятно влияет на его способность к передаче двоичной информации.

В цифровых устройствах двоичным сигналам присущи аналоговые атрибуты, обусловленные сложным взаимодействием многочисленных элементов схемы. Очевидно, что форма аналогового сигнала может быть изменена из-за воздействия шумов, нелинейных искажений, перекрестных помех, отражений и т. п. При передаче сигналов на короткие (в смысле электрической длины) расстояния и при низкой информационной скорости указанные эффекты никак не сказываются на достоверности передаваемой и принимаемой информации. При увеличении скорости или длины тракта передачи (то есть электрической длины) различные эффекты могут исказить сигнал до такой степени, что передаваемая информация будет принята с ошибками.

Основные проблемы, связанные с целостностью сигнала:

- нарушения амплитуды (рис. 1а). В число нарушений амплитуды входят звон (колебания), спад вершины (уменьшение амплитуды в начале импульса) и уменьшение амплитуды по всей длине импульса;
- искажения фронтов (рис. 1б). Искажения фронтов могут быть вызваны неудачной топологией печатной платы, неправильным согласованием или даже применением некачественных полупроводниковых устройств. В число искажений фронта входят выбросы, скругленный фронт, звон, затянутый фронт и другие искажения;
- нестабильность фронтов (рис. 1в). Нестабильность фронтов возникает, когда в цифровом сигнале происходят малые смещения фронтов от цикла к циклу. Это может повлиять на точность соблюдения

временных соотношений и синхронизации в цифровых системах;

- отражения (рис. 1г). Они могут появиться вследствие неправильного согласования и неудачной топологии печатной платы. Исходящий сигнал отражается в направлении источника и накладывается на следующие импульсы;
- перекрестные помехи (рис. 1д). Возникают, когда длинные проводники проходят рядом; это приводит к связи между ними через взаимную емкость и индуктивность. Кроме того, значительные токи и резкие фронты приводят к увеличению уровня электромагнитного излучения и, следовательно, перекрестных помех;
- колебания в шине заземления (рис. 1е). Такие колебания, вызванные избыточным током (или сопротивлением источника питания и возвратных путей по заземлению), могут привести к смещению опорного уровня схемы при протекании больших токов.

При увеличении тактовой частоты опознание и решение проблемы целостности сигнала становится более трудным. Именно включение новых правил проектирования, технологий и методов анализа позволяет добиться высокого качества продукции и выполнить работу в более короткие сроки. Непосредственные наблюдения и измерения сигнала — единственный способ найти причины неполадок, связанных с нарушением целостности сигнала.

При проектировании высокоскоростных цифровых устройств, в отличие от цифровых устройств, действующих на низкой рабочей частоте, особое значение приобретает учет характера пассивных элементов цепи, в том числе соединительных проводов, печатных плат и корпусов интегральных схем, которые являются элементами конструкции цифро-

вого устройства. На низких рабочих частотах эти конструктивные элементы не оказывают заметного влияния на функционирование схемы. С повышением рабочей частоты они начинают непосредственно влиять на электрические характеристики схемы. По мере увеличения частоты проводимость дорожек на печатной плате приобретает сложный характер. На низких частотах (например, тактовых частотах старых систем) сопротивление дорожки преимущественно активное. По мере роста частоты начинает сказываться емкость дорожки. На самых высоких частотах сильнее проявляется индуктивность дорожки. Все эти характеристики могут неблагоприятно влиять на целостность сигнала.

На тактовых частотах более 100 МГц важное значение имеют такие конструктивные особенности, как:

- распределение тактовых сигналов;
- очертания проводящих дорожек;
- ответвления;
- пределы допустимого шума;
- импедансы и нагрузки;
- влияние линий передачи;
- возвратные токи сигналов;
- согласование;
- развязки;
- распределение питания.

Они влияют на целостность цифровых сигналов тактирования и данных, распространяющихся в системе. Идеальный цифровой импульс составляет единое целое по времени и амплитуде. На нем нет искажений и нестабильности фронтов, его переходы быстрые и четкие. По мере увеличения быстродействия системы поддерживать идеальные характеристики сигнала становится все труднее. Поэтому сохранение целостности сигнала становится жизненно важной проблемой. Время нарастания импульса может быть удовлетворительным при тактовой частоте системы 50 МГц, но недостаточно быстрым для частоты 500 МГц и более.

Значение целостности сигнала возрастает по мере того, как в цифровых системах все чаще применяются гигабитные скорости передачи данных. Также на целостность цифрового сигнала влияют проблемы временного согласования. Инженеры, работающие над новыми цифровыми системами, как правило, сталкиваются с проблемами целостности сигналов в цифровой форме. Иначе говоря, двоичные сигналы на шинах или выходах устройства приобретают неверные значения. Ошибку можно заметить на осциллограмме (при измерении временных соотношений) в логическом анализаторе; она может проявиться и на уровне состояний и даже на уровне протокола. Следует помнить, что всего один неправильный бит способен оказать самое серьезное влияние на оператор программы или переход.

Самые разные причины вызывают искажения цифрового сигнала. Особенно распространены причины, связанные с временными соотношениями. Многие неполадки цифровой техники легче обнаружить, если есть возможность глубоко изучить поведение

**Таблица.** Нарушения целостности сигналов, причины их возникновения и инструменты программы LineSim для определения соответствующего нарушения

Нарушение	Причина	Инструменты LineSim
Большая задержка	Длинные цепи	Digital Oscilloscope
Большой сдвиг	Несовпадение задержек	Digital Oscilloscope
Повышающий/понижающий выброс, большое время установления сигнала	Длинная цепь, быстрый фронт, несовпадение импеданса	Digital Oscilloscope
Наводка	Связанные цепи, быстрый фронт, длинные параллельные трассы	Digital Oscilloscope
ЭМС	Длинная цепь, быстрый фронт, несовпадение импеданса	Spectrum Analyzer

сигнала и исследовать аналоговое представление цифрового сигнала со сбоями. Причина неполадки, проявляющейся в виде смещенного цифрового импульса, может скрываться в его аналоговых характеристиках, которые могут вызвать цифровые сбои, когда сигналы с низкой амплитудой преобразуются в неверные логические состояния или когда импульсы сдвигаются во времени из-за затянутого фронта нарастания.

Целостный цифровой сигнал должен иметь четкие и быстрые переходы, стабильные и четкие логические уровни, точные соотношения во времени, а кроме того, в нем не должно быть переходных процессов. Создание и поддержание полных и нетронутых сигналов в цифровых системах становится все более затруднительным. Сохранение целостности цифровых сигналов стало настоятельной необходимостью для разработчиков систем. Просмотр потока цифровых импульсов одновременно с аналоговым представлением этих импульсов — первый шаг при поиске подобных неисправностей.

### Выявление нарушений целостности сигналов и причин их возникновения при помощи средств LineSim

Определив причины нарушений целостности сигналов, можно уменьшить риск их возникновения. В LineSim есть возможность выполнить моделирование:

- одиночной цепи (что позволяет быстро определить задержку и сдвиг между приемниками этой цепи, повышающий выброс, понижающий выброс и звон, ЭМС для этой цепи);
- двух цепей одновременно (что позволяет быстро определить задержку и сдвиг на каждой цепи, сдвиг между приемниками на разных цепях, повышающий выброс, понижающий выброс и звон для каждой цепи);
- более двух цепей одновременно (что позволяет быстро определить сдвиг, повышающий выброс и понижающий выброс для приемников в каждой цепи, сдвиг между приемниками на разных цепях).

Определение проблем начинается с моделирования единичной цепи при помощи виртуального осциллографа, что позволяет обнаружить следующие проблемы целостности сигналов: повышающий выброс, понижающий выброс, звон, сдвиг между приемниками, задержку распространения сигнала. При проверке одной цепи есть возможность запустить моделирование спектра электромагнитного излучения. При помощи антенного зонда можно проверить ЭМС. С помощью того же зонда удастся получить спектр токов

на любом выводе. Это бывает полезно для определения текущих причин возникновения проблем ЭМС.

Эффекты наводок, повышающий выброс и временные параметры на цепи-«жертве» требуют совместного моделирования цепи-«жертвы» и одного или нескольких «агрессоров». Цепь-«жертва» может также быть «агрессором», поэтому важно моделировать цепи совместно. В таблице представлены возможные нарушения целостности сигналов и причины их возникновения, а также инструменты программы LineSim, которые используются для определения соответствующего нарушения.

### Выявление выбросов при помощи виртуального осциллографа

Зачастую причиной периодически возникающих неполадок в работе устройства служат сигналы, которых в данном месте быть не должно, их называют «глитчи», или «выбросы». Выброс представляет собой искажение аналогового сигнала, который на короткое время становится выше, а затем ниже логического порога, создавая высокий логический уровень, существующий достаточно долго для того, чтобы возник выброс.

Для определения такого рода нарушений в LineSim применяется виртуальный осциллограф Digital Oscilloscope, одной из наиболее важных особенностей которого является возможность зарегистрировать однократное событие. Digital Oscilloscope предназначен для регистрации аналоговых характеристик исследуемых сигналов. Он может отображать прямоугольный сигнал, нестационарный выброс или синусоидальный сигнал. Полученный аналоговый сигнал отображается на экране графического дисплея виртуального осциллографа и показывает истинную природу выброса. На основе наблюдения и измерения полученного сигнала инженер определяет и устраняет причину нарушения. К примеру, причина появления выбросов может заключаться в том, что расположение элементов платы в области линии сигнала допускает появление отражений от концов линии при увеличении скорости фронта. Изменение расположения элементов позволит устранить это нарушение.

Открыть лицевую панель виртуального осциллографа в LineSim (окно **Digital Oscilloscope** — рис. 2) можно командой основного меню Simulate SI/Run Interactive Simulation (SI Oscilloscope) или нажатием на одноименную кнопку панели инструментов **LineSim**. В верхней левой части окна расположен графический дисплей, предназначенный для графического отображения формы сигнала

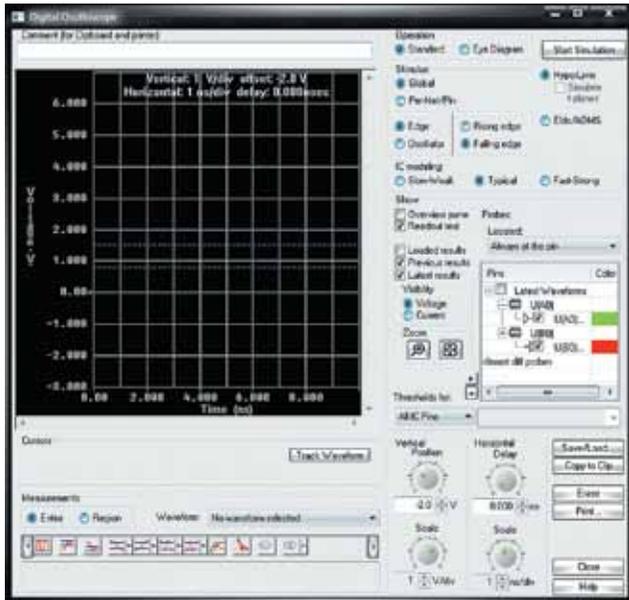
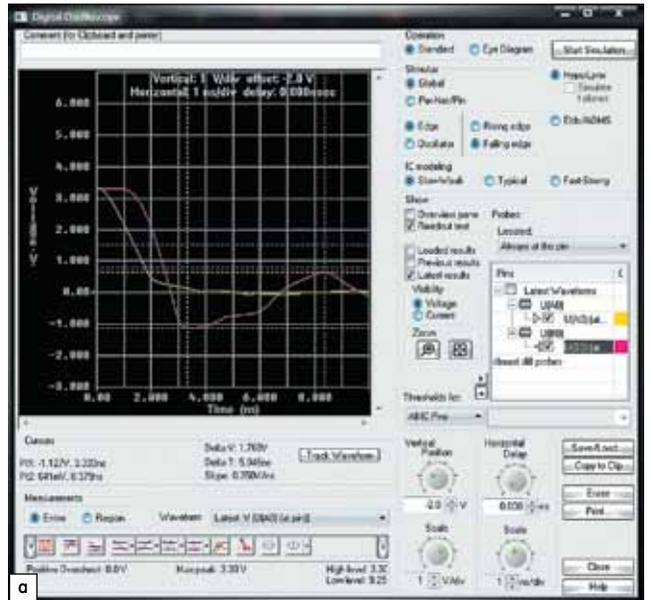
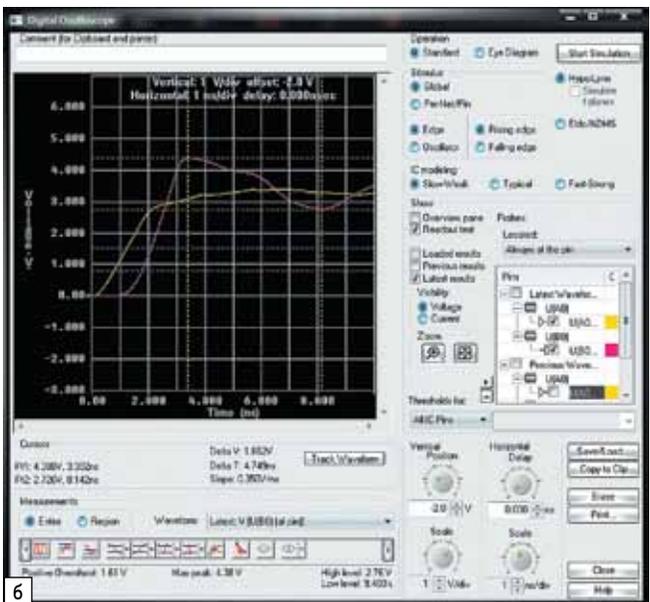


Рис. 2. Лицевая панель виртуального осциллографа Digital Oscilloscope программы LineSim



а) задний фронт, длина линии передачи 15,24 см;



б) передний фронт, длина линии передачи 15,24 см

ла. Также прибор оснащен двумя курсорами для проведения измерений во временной области, каждый из которых можно установить, щелкнув левой кнопкой мыши в области графического дисплея. Третий щелчок удаляет курсоры. В правой нижней части окна находятся четыре ручки управления, предназначенные для настройки отображения измеряемого сигнала. Более подробно работа с виртуальным осциллографом LineSim была рассмотрена в [7].

Перед запуском моделирования нужно установить зонды. Если установка зондов не выполнена разработчиком, то система автоматически использует первые шесть выводов компонентов из возможных. Зонды можно установить на любой вывод компонента. Все возможные точки зондирования отображаются в поле **Probes** окна **Show** лицевой панели виртуального осциллографа. После установки зондов задаются входные условия моделирования и значения отображения симулятора.

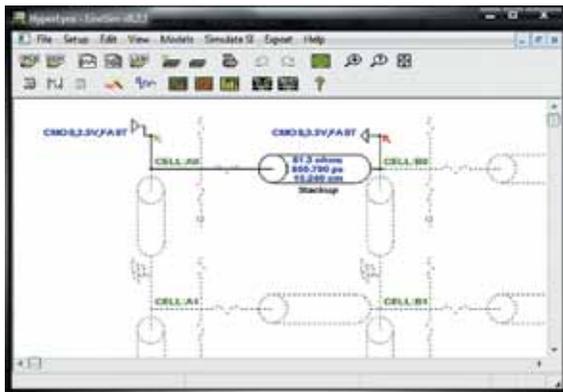


Рис. 3. Модель одиночной линии передачи длиной 15,24 см и со временем задержки сигнала 850 пс

Для примера рассмотрим модель линии передачи (рис. 3) со следующими параметрами (создание схемы в LineSim было подробно рассмотрено в [7]):

- буферы ввода/вывода выполнены по технологии CMOS, 3,3 В, FAST;
  - линия передачи одиночная; длина линии 15,24 см, волновое сопротивление 81,3 Ом, время задержки сигнала 850 пс.
- Установим следующие параметры осциллографа:
- Edge (фронт): Falling edge (задний фронт);
  - IC modeling (передатчик сигнала): Slow-Weak (медленный слабый).
- Настроим отображение измеряемого сигнала:
- поле Vertical Scale (величина деления по оси Y): 1В/div;
  - поле Horizontal Scale (величина деления по оси X): 1nsec/div.

Запуск моделирования производится нажатием на кнопку **Start Simulation** в верхнем правом углу окна Digital Oscilloscope. На рис. 4а показан результат моделирования. Для определения значений понижающего/повышающего выброса необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши по самой низкой/высокой точке выброса. Полученные значения будут отображены в поле Cursors на лицевой панели осциллографа, при этом на кривой отобразятся маркеры курсоров.

Повторим моделирование, используя передний фронт. Для этого установим на лицевой панели осциллографа переключатель в позицию Edge (фронт): Rising edge (передний фронт). Результаты моделирования показаны на рис. 4б. Полученные значения понижающего/повышающего выброса отображены в поле Cursors на лицевой панели осциллографа. Согласно техническим условиям повышающий выброс не должен превышать значение 1 В, а понижающий — значение 0,5 В как для переднего, так и для заднего фронта. В обоих случаях технические условия для этого проекта нарушены.

На основании таблицы можно сделать предположение, что причиной нарушения может быть длинная цепь, быстрый фронт или несовпадение импеданса. Изменим длину линии передачи до 2 см и проведем повторное моделирование, результаты которого представлены на рис. 4в (Edge: Falling edge) и 4г (Edge: Rising edge). Для того чтобы изменить длину линии передачи, необходимо щелкнуть

шей линии автоматически рассчитываются и отображаются в поле **Electrical properties**. Как видно из рис. 4в и рис. 4г, в обоих случаях нарушение было устранено.

**Оценка электромагнитной совместимости при помощи виртуального анализатора спектра**

С увеличением быстродействия интегральных микросхем инженеры вынуждены уделять все больше внимания проблемам электромагнитной совместимости. ЭМС рассматривает электромагнитные поля, распространяющиеся от передающей линии в пространстве. Плата не удовлетворяет требованиям ЭМС, если максимальное электромагнитное излучение превышает нормы ЭМС на любой частоте. Электромагнитное излучение зависит от характеристик передающих линий трасс и скорости фронта передатчика, наибольшие значения будут получены для длинных трасс и передатчиков с быстрыми фронтами. Также оно зависит от расстояния до слоя металлизации. Размещение трасс на внутреннем слое между слоями металлизации уменьшает электромагнитное излучение. Проблемы ЭМС можно решить, укорачивая трассы или размещая проблемные трассы между слоями металлизации. Для оценки ЭМС от трасс схемы в LineSim можно использовать анализатор спектра.

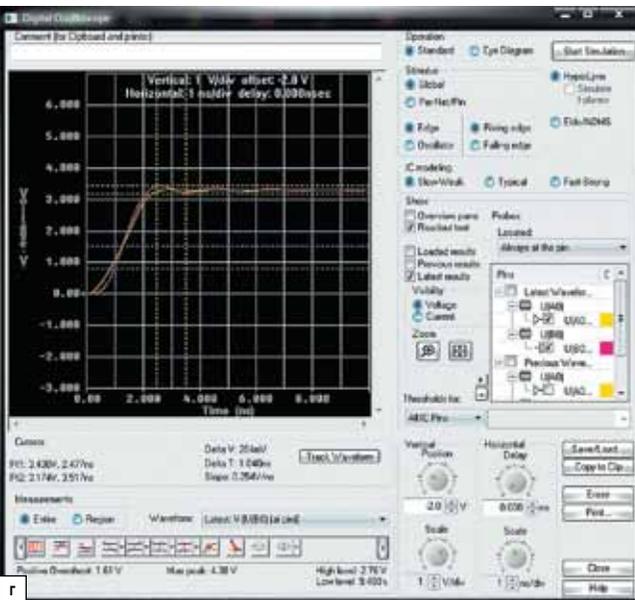


Рис. 4. Выявление выбросов при помощи виртуального осциллографа:

- в) задний фронт, длина линии передачи 2 см;
- г) передний фронт, длина линии передачи 2 см

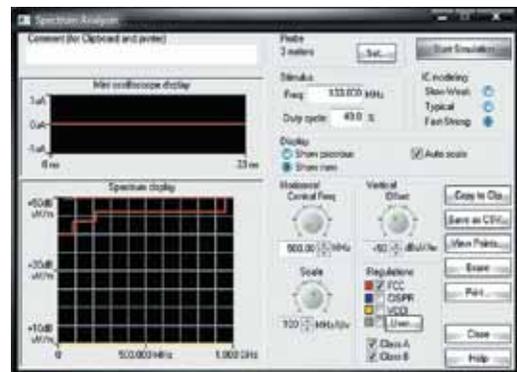


Рис. 6. Лицевая панель виртуального анализатора спектра Spectrum Analyzer программы LineSim

Открыть лицевую панель виртуального анализатора спектра в LineSim (окно **Spectrum Analyzer**, рис. 6) можно командой основного меню **Simulate SI/Run Interactive EMC Simulation (Spectrum Analyzer)** или нажатием одноименной кнопки панели инструментов **LineSim**. Перед запуском моделирования нужно установить зонды. Для этого необходимо нажать кнопку **Set** в поле **Probe** лицевой панели анализатора спектра. В нашем примере используется антенный зонд.

Установим следующие параметры в окне **Spectrum Analyzer**:

- **Freq** (частота): 50 МГц;
- **Duty cycle** (рабочий цикл): 55%;
- **IC modeling** (передатчик сигнала): Fast-Strong (быстрый сильный);
- **Regulations** (выбор норм ограничений): FCC.

Настроим отображение измеряемого сигнала. Для чего в поле **Display** установим переключатель в позицию **Show new** и установим флажок в чекбоксе **Auto scale**, чтобы отобразить в центре окна дисплея самую высокую вершину. Более подробно настройка параметров виртуального анализатора спектра была рассмотрена в [7]. Запуск моделирования производится посредством нажатия на кнопку **Start Simulation** в верхнем правом углу лицевой панели анализатора спектра.

Необходимо сказать, что в нашем примере рассматривается модель линии передачи (рис. 7) со следующими параметрами:

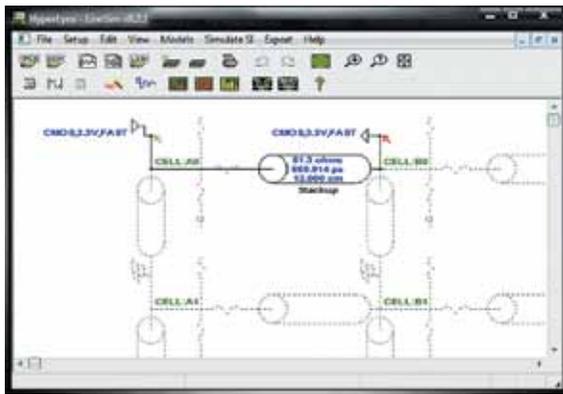
- буферы ввода/вывода выполнены по технологии CMOS, 3.3V, FAST;
- линия передачи одиночная; длина линии 12 см, волновое сопротивление 81,3 Ом, время задержки сигнала 669,9 пс.

На рис. 8а показан результат моделирования, который отображается в двух окнах дисплея. Верхнее окно **Mini oscilloscope display** показывает токовую кривую передатчика в линейном масштабе. Нижнее окно **Spectrum display** показывает спектр ЭМС в логарифмическом масштабе. При этом выбранные нормы отображаются в виде линий ограничений на дисплее **Spectrum display**, налагаясь на спектр модели-



Рис. 5. Диалоговое окно Edit Transmission Line

правой кнопкой мыши на ее символе на схеме и в открывшемся окне **Edit Transmission Line** (рис. 5) на вкладке **Values** в поле **Length** ввести необходимое значение. При этом электрические свойства передаю-



**Рис. 7.** Модель одиночной линии передачи длиной 12 см и со временем задержки сигнала 669,9 пс

рованного излучения. Как видно из рисунка, в рассмотренном примере есть нарушение норм FCC (максимальное электромагнитное излучение превышает нормы ЭМС), а это означает, что плата не удовлетворяет требованиям ЭМС.

На основании таблицы можно сделать предположение, что причиной нарушения может быть длинная цепь, быстрый фронт или несовпадение импеданса. Изменим длину линии передачи до 5 см, а затем установим значение поля IC modeling в позицию Slow-Weak (медленный слабый) и повторим анализ ЭМС, результаты которого представлены на рис. 8б. Как видно из рисунка, нарушение устранено. По результатам выполненного моделирования можно определить, что причина нарушения норм ЭМС заключалась в использовании длинной линии передачи и быстрого передатчика сигнала.

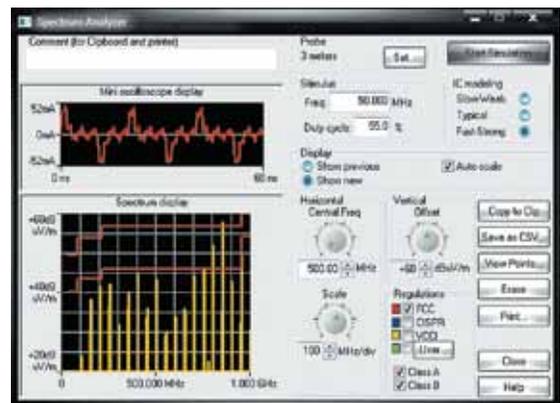
### Решение проблем целостности сигналов при разработке быстродействующих устройств

С наступлением эры субмикронных и нанометровых технологий интегральные схемы стали работать на высоких частотах и потреблять большой ток и мощность при меньших напряжениях питания. Это привело к более активному проявлению эффектов индуктивного и емкостного характера (как на уровне корпусов микросхем, так и на печатных платах), которые неблагоприятно влияют на способность сигнала к передаче двоичной информации.

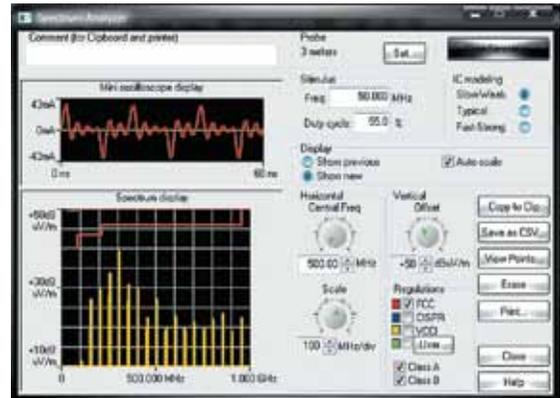
Существуют следующие решения этой проблемы:

- высокая скорость фронта передатчика увеличивает риск возникновения проблем целостности сигналов, перекрестных помех и ЭМС, поэтому применение микросхем с меньшей скоростью фронта и увеличение мощности передатчика может решить проблемы качества сигнала;
- изменение трассировки цепей, или характеристик передающих линий трасс, помогает в решении проблем с задержкой и сдвигом сигнала. Создание цепи меньше критической длины уменьшает звон, наводку и проблемы ЭМС;
- применение согласующих компонентов, не исполняющих какой-либо логической функции, требуется для согласования длинных цепей с быстрыми передатчиками. Если такое согласование необходимо, обычно используется последовательный резистор между передатчиком и передающей линией. Это уменьшает ток в передающей линии. На конце приемника энергия, пришедшая по передающей линии, отражается обратно к передатчику. Это приводит к удвоению напряжения из-за отражения сигнала, и, как результат, сигнал на приемнике переходит логический порог. Компоненты согласования должны быть размещены как можно ближе к ассоциированным передатчикам или приемникам.

В настоящее время во всем мире широкое распространение получили методы синтеза схем, когда выбор соответствующих компонентов схемы осуществляется с помощью программных инструментов. Компьютерная симуляция характеристик ЭМС может проводиться во временной или частотной области. Картина, полученная во временной области, позволяет оценить целостность сигналов, то есть крутизну



**а)**



**б)**

**Рис. 8.** Оценка электромагнитной совместимости при помощи виртуального анализатора спектра:

- а) длина линии передачи 12 см, передатчик сигнала Fast-Strong (быстрый сильный);  
б) длина линии передачи 5 см, передатчик сигнала Slow-Weak (медленный слабый)

фронтов, наличие выбросов/провалов или звона при передаче сигналов. Результаты компьютерного моделирования помогают выявить слишком длинные соединительные проводники и несогласованность импедансов.

Улучшение ЭМС-характеристик электронных устройств может быть достигнуто следующими мерами: ограничением крутизны фронтов импульсов при переключении транзисторов и логических элементов, а также размещением дополнительных источников заряда (конденсаторов) в непосредственной близости от переключаемой логической схемы. Уменьшать крутизну фронтов тактовых импульсов можно лишь в тех случаях, когда это не противоречит требованиям по производительности. Транзисторы и логические элементы при совместной работе не должны формировать импульсы со слишком крутыми фронтами.

На передаваемые сигналы оказывают непосредственное влияние и паразитные колебания (звон), причиной которых является несогласованность импедансов источника и приемника сигналов. Снизить уровень данных колебаний можно, руководствуясь следующими правилами:

- длина проводящих дорожек печатной платы, предназначенных для передачи высокоскоростных сигналов, должна быть минимальной;
- импедансы проводящих дорожек должны быть согласованы;
- используйте непрерывные слои «земли», а не отдельные островки;
- располагайте последовательный согласующий резистор как можно ближе к источнику сигнала;
- располагайте нагрузочный согласующий резистор как можно ближе к приемнику сигнала;
- согласующая нагрузка предназначена для согласования импедансов по переменному току, то есть через нее не должен протекать постоянный ток (в противном случае это приведет к повышенным потерям мощности при передаче сигнала).

С учетом всего вышеизложенного, можно предложить следующие рекомендации, которые направлены на снижение риска появления нарушений целостности сигналов высокоскоростных печатных плат:

- делайте проводящие дорожки на печатной плате как можно короче (в первую очередь это относится к высокоскоростным сигналам);
- используйте отдельные слои многослойной печатной платы для разводки шин питания и «земли»; избегайте появления на этих слоях изолированных областей;
- используйте для разводки шин питания и «земли» соседние слои, поскольку вместе они образуют распределенный конденсатор;
- располагайте развязывающие конденсаторы в непосредственной близости от выводов питания/«земли» интегральных микросхем;
- сверьтесь со справочными данными развязывающих конденсаторов. Их паразитные параметры (ESR, ESL, резонансная частота) должны быть учтены при проектировании высокоскоростных систем;
- в целях минимизации отражений сигнала соответствующие импедансы необходимо согласовывать;
- используйте надлежащим образом подобранные резисторы для согласования нагрузки высокоскоростных сигнальных линий (проводящих дорожек печатной платы);
- убедитесь, что путь протекания возвратного тока для каждого из сигналов минимален;
- длина контуров, в которых протекают импульсные токи с высокой скоростью нарастания, должна быть как можно меньшей. Так можно снизить уровень перекрестных помех, электромагнитных излучений и других помех, связанных с EMC;
- при проектировании печатной платы располагайте дорожки высокоскоростных цифровых сигналов в отдалении от дорожек, по которым проходят сигналы чувствительных аналоговых устройств;
- параллельное расположение дорожек печатной платы может иметь как положительный, так и отрицательный эффект. В связи с этим избегайте параллельного расположения дорожек, если необходимо получить минимальный уровень перекрестных помех. Для передачи дифференциальных сигналов, наоборот, следует использовать параллельные и как можно более близко расположенные дорожки;
- увеличивайте промежуток между теми дорожками, взаимное влияние сигналов в которых нежелательно;
- разводку дорожек для наиболее высокоскоростных сигналов проводите на внутренних слоях многослойной печатной платы.

В поисках способов увеличения плотности монтажа и сокращения пути сигналов разработчики обращаются к печатным платам уменьшенного размера и повышенной плотности размещения компонентов, на которых устанавливаются микросхемы с шариковыми выводами и используются глухие межслойные переходные отверстия. При помощи модуля LineSim системы HyperLynx можно еще на стадии схемотехнического проектирования уточнить требования к электрическим параметрам микросхем, определить необходимость использования помехоподавляющих элементов, выбрать корпус микросхем.

### Литература

1. PADS ES Suite Evaluation Guide. Mentor Graphics Corporation, 2012.
2. Сабунин А. Altium Designer: обеспечение целостности сигнала на печатной плате // Современная электроника. 2010. № 8.
3. Сергеев А. Предтопологический анализ целостности сигналов в среде Cadence Allegro PCB SI // Современная электроника. 2012. № 9.
4. Кочкиков И. Система HyperLynx компании Mentor Graphics. Пропуск в мир проектирования высокоскоростных печатных плат // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2005. № 8.
5. Основы целостности сигнала. Начальное руководство. Tektronix, 2005.
6. Колесникова Т. Проектирование принципиальных схем и печатных плат в программной среде Mentor Graphics PADS 9.5. Часть 5. Анализ целостности сигналов высокоскоростных печатных плат в HyperLynx // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 3.
7. Колесникова Т. Проектирование принципиальных схем и печатных плат в программной среде Mentor Graphics PADS 9.5. Часть 6. Предтопологический анализ целостности сигналов высокоскоростных печатных плат в HyperLynx // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 4.
8. Шумахер У. Полупроводниковая электроника. М.: ДМК-Пресс, 2015.



## УВИДЕТЬ ЦЕЛОЕ В ДЕТАЛЯХ.

Перспективы развития и производства инновационной электроники.

Купите билет или зарегистрируйте пригласительный прямо сейчас!  
[productronica.com/en/tickets](http://productronica.com/en/tickets)



**productronica 2015**  
 innovation all along the line

Ведущая в мире выставка развития и производства электроники. 40 лет инноваций.

10 – 13 ноября 2015  
 Messe München  
[www.productronica.com](http://www.productronica.com)

Контакт:  
 ООО «Мессе Мюнхен Консалтинг»  
 Тел. +7 495 697 16 70  
[info@messe-muenchen.ru](mailto:info@messe-muenchen.ru)

# Современные отечественные гальванические линии для производства ПП высокого класса

**В рамках открытой в прошлом номере рубрики представляем еще одного отечественного производителя специального технологического оборудования для изготовления печатных плат широкой номенклатуры, включая прецизионные 6–7-го классов точности, — ООО «РТС Инжиниринг».**

**Евгений Крылов**

[e\\_krylov@rts-engineering.ru](mailto:e_krylov@rts-engineering.ru)

**Сергей Кочетков**

[s\\_kochetkov@rts-engineering.ru](mailto:s_kochetkov@rts-engineering.ru)

**Илья Лейтес**

[i\\_leytes@rts-engineering.ru](mailto:i_leytes@rts-engineering.ru)

**П**родолжающаяся тенденция к миниатюризации электронных устройств повышает требования к печатным платам (ПП). Уже сейчас конструкторами разрабатываются ПП 6–7-го классов точности.

Одним из важнейших процессов в производстве ПП является металлизация отверстий, от качества которой зависит надежность работы ПП и всего устройства. При этом главной проблемой является металлизация микроотверстий при большом отношении толщины платы к диаметру отверстия. В настоящее время при изготовлении ПП 6–7-го классов точности выдвигаются требования металлизации сквозных микроотверстий диаметром до 0,1 мм при отношении толщины платы к диаметру отверстия (aspect ratio) 20:1, а для глухих отверстий такого же диаметра — 1,2:1.

Для решения этой задачи необходимо иметь соответствующее оснащение химико-гальванической

линии (ХГЛ) и рабочие растворы (химические техпроцессы), позволяющие достигать характеристик, соответствующих печатным платам 6–7-го классов.

Специалисты «РТС Инжиниринг» разрабатывают и изготавливают ХГЛ на основе десятилетнего опыта, полученного при работе с немецкой фирмой Manz Galvanotechnik, и рекомендаций компании DOW (Shibley), поставщика технологических процессов для производства ПП, эксклюзивным представителем которой является «РТС Инжиниринг». ХГЛ, производимые нашей компанией, предназначены для вертикального нанесения химических и гальванических покрытий на все виды ПП как в ручном, так и в автоматическом режиме. Не уступая по качеству и надежности импортным, линии разработки и производства «РТС Инжиниринг» значительно выигрывают по ценовым характеристикам.

Существенным преимуществом является то, что мы предлагаем комплексную поставку: разработку и изготовление линии, концентраты компании DOW (Shibley), отработку и сопровождение технологического процесса. Наши технологии могут адаптировать ХГЛ под необходимую заказчику производительность и выбранный технологический процесс.

Как правило, ХГЛ для производства ПП состоит из двух отдельных линий (рис. 1). Одна предназначена для химической и предварительной гальванической («затяжки») металлизации отверстий, другая — для нанесения основной толщины меди и металлорезиста на рисунок ПП. В первую линию может быть также включен процесс перманганатной обработки отверстий ПП, устраняющий наволакивание смолы, полученное при сверлении. Для заполнения глухих отверстий медью в линии гальванического нанесения покрытий может быть предусмотрена специальная ванна, если это необходимо по условиям используемого техпроцесса. Обычно две линии устанавливаются параллельно друг другу, а между ними располагается общий трап обслуживания шириной 800–1000 мм.

Для переноса катодных штанг с подвесками, на которых крепятся ПП, линии оснащены автооператорами, количество которых зависит от производитель-



**Рис. 1.** Химико-гальваническая линия с подвесными автооператорами



**Рис. 2.** Химико-гальваническая линия с консольным автооператором

ности. В зависимости от производительности и ширины ванн линии комплектуются автооператорами консольного (рис. 2) или подвешенного типа.

Для повышения долговечности и сохранения внешнего вида изготавливаются автооператоры из нержавеющей стали с покрытием порошковой краской, оснащаются индуктивными датчиками в пластиковом исполнении и мотор-редукторами с антикоррозийной защитой. Для работы в ручном режиме используются пульты радиоуправления. Для повышения коэффициента использования линии за счет снижения времени выдержки ПП над ваннами, а также для устранения загрязнения ванн, на автооператорах установлены автоматические каплесборные поддоны.

Для обеспечения металлизации ПП 6–7-го классов точности ХГЛ оснащаются особыми инновационными системами. Рассмотрим их подробнее.

Система покачивания служит для перемешивания и прокачки раствора в отверстиях. Для регулирования частоты покачивания и обеспечения плавности хода применена частотная система управления электродвигателем.

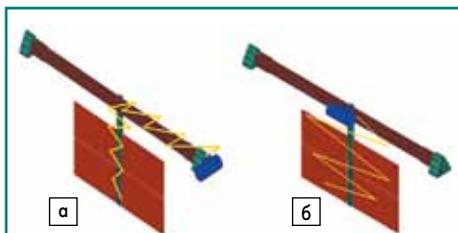
Для перемешивания растворов применяются воздушные и безвоздушные системы. Воздушные используются при металлизации ПП до 5-го класса. Основным преимуществом этих систем является простота и дешевизна. Для металлизации отверстий ПП высокого класса точности применяется безвоздушное перемешивание с использованием эдукторов (рис. 3), это позволяет получать более равномерное распределение меди на ПП и исключить образование пузырьков.



**Рис. 3.** Ванна с безвоздушным перемешиванием



**Рис. 4.** Малогабаритные вибраторы



**Рис. 5.** Эффективность передачи вибрации:  
а) вибратор установлен на ванне;  
б) вибратор установлен на штанге

С целью удаления пузырьков газов из микроотверстий в химико-гальванических линиях применяются электрические вибраторы (рис. 4). Для повышения эффективности их работы они устанавливаются непосредственно на перемещаемые катодные штанги. Это обеспечивает передачу вибрации с наименьшими потерями по сравнению со схемой, когда вибраторы устанавливаются на борту ванны (рис. 5). Управление вибраторами осуществляется от компьютера, в программе которого можно установить требуемое время включения и паузы.

Для постоянной или периодической очистки процессных ванн ХГЛ оснащены автономными фильтровальными установками, которые повышают качество обработки ПП и увеличивают срок службы растворов. Для исключения засорения катодного пространства шламом от анодов пространство между анодами и катодами разделено мембраной.

Для металлизации микроотверстий с соотношением толщины платы к диаметру отверстия от 15:1 и выше «РТС Инжиниринг» в соответствии с рекомендациями компании Dow применяет импульсно-реверсные выпрямители, позволяющие получить равномерное покрытие и исключить бочкообразность металлизированных стенок отверстий.

К преимуществам импульсно-реверсных выпрямителей относятся отличная рассеивающая способность, работа при более высокой плотности тока и меньшее время нанесения покрытия. К недостаткам — необходимость использования специальных электролитов и высокая стоимость.

При относительно небольшом количестве ПП высокого класса точности в общем объеме производства целесообразно в линии иметь отдельную ванну, специально оснащенную для изготовления прецизионных ПП.



**Рис. 6.** Ванна двухкаскадной промывки

Большое значение при производстве ПП высокого класса точности имеет качественная отмывка ПП после технологических растворов. «РТС Инжиниринг» использует двухкаскадные промывки (рис. 6) с установкой на втором каскаде распылительных форсунок.

Для надежного крепления ПП и подвода к ним тока в линиях химической металлизации применяются специальные подвески из нержавеющей стали, а в линии нанесения рисунка на ПП гальваническим методом такие же подвески, но с покрытием из ПВХ или специальным покрытием Halar (рис. 7). Нижняя часть подвесок фиксируется с помощью специального приспособления, что позволяет получить равномерное покрытие на ПП. Все подвески в конце смены должны подвергаться операции стравливания осажденной меди, для чего в линиях предусматриваются специальные ванны.



**Рис. 7.** Подвески с покрытием ПВХ

Рассмотрим конструктивные особенности выпускаемых ООО «РТС Инжиниринг» линий.

Каждая поставляемая линия включает в себя:

- ванны с соответствующим технологическим оснащением;
- трубопроводную обвязку из полимерных материалов в пределах линии;
- металлоконструкции (трап на две линии, опорная металлоконструкция);
- оборудование для транспортировки ПП;
- систему местной вытяжной вентиляции (в пределах линии);

- вспомогательное оборудование (в т.ч. фильтровальное оборудование, выпрямительные агрегаты, оборудование для снабжения сжатым воздухом и пр.);
- шкафы управления и систему автоматизации.

Ванны, в зависимости от применяемых рабочих растворов, изготавливаются из различных полимерных материалов (полипропилен (ПП), полиэтилен (ПЭ), поливинил-хлорид (ПВХ), поливинилденфторид (PVDF)), а также из нержавеющей стали. Конструкции ванн выполнены в соответствии с немецким федеральным стандартом DVS 2205 и рассчитаны на 15-летний срок службы. Ванны имеют надежный сварной металлический каркас, закрытый полипропиленовым профилем (рис. 8).



**Рис. 8.** Ванны полипропиленовые

Для изготовления пластиковых ванн применяется высококачественный полимерный материал фирм Röchling Engineering Plastics (Германия), Simona AG (Германия), запорная арматура для промышленного применения из полипропилена или ПВХ (пр-во Италия). Сварка пластиковых конструкций выполняется специалистами, прошедшими обучение в Германии и имеющими сертификат на проведение сварочных работ по пластику.

Ванны с нагревом снабжены специальными трубчатыми электронагревателями для гальванических производств (рис. 9), подобранными с учетом условий эксплуатации, а ванны с температурой раствора выше +50 °С имеют теплоизоляцию.

Все технологические ванны, в том числе ванны теплой проточной промывки, оборудованы бортовыми отсосами местной вытяжной вентиляции, которая позволяет эффективно удалять кислотно-щелочные



**Рис. 9.** Ванна с патронными нагревателями



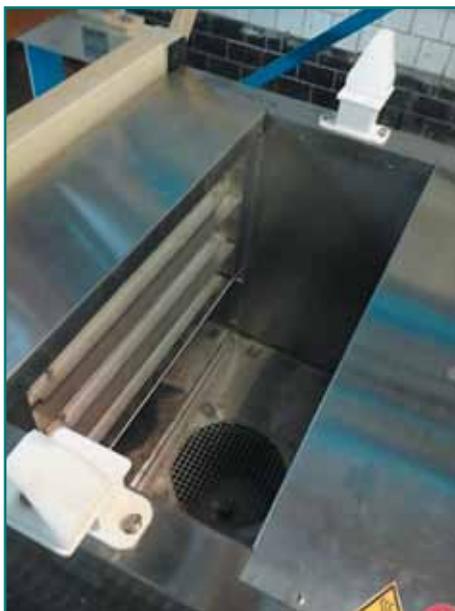
**Рис. 10.** Вентилятор с каплеотделителем

испарения. В стандартном исполнении линии комплектуются бортовыми отсосами, воздушными заслонками для регулировки вытяжной системы и сборными воздуховодами. По желанию заказчика могут быть поставлены современные вентиляторы и каплеотделители производства Германии, выполненные из полипропилена (рис. 10). Они просты в управлении и обслуживании, каплеотделители обеспечивают очистку выбросов до 99%.

Для качественной сушки ПП линия комплектуется ванной воздушной сушки с рециркуляцией воздуха, что сокращает энергозатраты (рис. 11). Температура в сушке задается и регулируется с управляющего компьютера.

В производстве ПП высокого класса точности важное значение имеет соблюдение технологических параметров процессов и исключение субъективных факторов. Поэтому линии комплектуются современной системой управления, которая состоит из персонального компьютера, установленного в специальном шкафу (рис. 12), и контроллера фирмы Siemens.

По желанию заказчика каждая линия может быть оснащена своим персональным компьютером, либо управление двумя линиями осуществляется с одного общего компьютера.



**Рис. 11.** Воздушная сушка с рециркуляцией воздуха

Система управления обеспечивает:

- автоматическое перемещение подвесок по программе с регламентированным временем нахождения подвесок в ваннах и над ними (время нахождения подвесок в ваннах может устанавливаться оператором в зависимости от требований технологического процесса);
- запуск нескольких подвесок по различным программам обработки;
- автоматическое поддержание температуры в ваннах;
- управление режимами выпрямителей, в том числе производится суммирование А-ч, индикация тока и напряжения;
- автоматическое дозирование добавок;
- автоматическую подачу воды в промывки при опускании в них подвесок с регулируемой времени подачи;
- автоматическое включение вибраторов на заданное время;
- визуальное отображение структуры линии с местонахождением автооператора, параметров ванн и времени нахождения подвесок в каждой ванне;
- архивирование данных о проведенных операциях и состоянии рабочих процессов;
- хранение созданных технологических маршрутов с возможностью их изменения;
- выдачу на экран компьютера сообщения о неполадках в работе линии.

Для удобства эксплуатации линии в составе поставки «РТС Инжиниринг» предлагает бочковые насосы, которые предназначены для перекачки растворов из рабочих ванн в ванны временного хранения при профилактических работах (включая периодическую фильтрацию растворов, мытье ванн). Для приготовления растворов предлагается передвижная емкость, оснащенная мешалкой, фильтровальной установкой и системой нагрева.

Для обеспечения линии обессоленной водой третьей категории по ГОСТ 9.314-90, для приготовления растворов и подачи воды на про-



**Рис. 12.** Шкаф с компьютером управления



Рис. 13. Обратноосмотическая установка

мывки ХГЛ оснащаются обратноосмотической установкой (рис. 13) с накопительным баком.

Важнейшим фактором достижения высоких показателей при производстве ПП 6–7-го классов являются используемые химикаты. «РТС Инжиниринг» обеспечивает бесперебойную поставку химикатов компании Dow, которая является мировым лидером в разработке и производстве химико-гальванической продукции для ПП и общей гальваники по всему миру. Dow имеет богатейший опыт в производстве химии и разработке новейших технологий, основанный на собственных инновационных исследованиях, а также опыте технологов таких известных компаний — производителей химикатов, как Shipley и Rohm and Haas Electronic Materials, которые в данный момент входят в состав Dow. Компания предлагает весь спектр химических технологий для производства ПП, включая подготовку поверхности перед нанесением СПФ и перед прессованием слоев МПП, подготовку стенок отверстий перед металлизацией, различные способы прямой металлизации, нанесение химической и гальванической меди, нанесение гальванического олова и олова-свинца, гальванического серебра, а также всех видов финишных покрытий.

Перечисленные технологии Dow включают в себя различные химикаты и концентраты, которые подходят для производства несложных печатных плат 1–4-го классов точности с соотношением толщины платы к диаметру отверстия до 10:1, сложных ПП 4–5-го классов точности с aspect ratio от 10:1 до 15:1, а также ПП 6–7-го классов точности с соотношением толщины платы к диаметру отверстия 20:1 и выше. Выбор процессов зависит от требований заказчика и номенклатуры изготавливаемых ПП. Рассмотрим более подробно некоторые из процессов компании Dow.

Процесс подготовки стенок отверстий ПП перед металлизацией Circuposit 3310 обеспечивает уникальную шероховатость для качественного последующего нанесения химической меди и гальваники. При своей надежности процесс очень прост в технологическом освоении и аналитике. Его правильное проведение приведет к получению качественной топографии стенок отверстий даже в сверхмалых диаметрах (0,1 и 0,05 мм).

Circuposit 3000-1 — очень надежный саморазгоняющийся процесс нанесения химической меди, который не требует отдельного этапа разгона реакции, что увеличивает скорость процесса, делает его надежным и качественным. Данный процесс является универсальным и подходит для металлизации как простых ПП 1–5-го классов точности, так и сверхсложных 6–7-го классов.

Dow предлагает несколько технологий гальванического меднения в зависимости от сложности плат, вида оборудования для металлиза-

ции и наличия у заказчика оборудования, необходимого для аналитики. Как показывает практика, для изготовления печатных плат 5-го, 6-го и 7-го классов точности необходимо использовать для аналитики вольтамперометрию, то есть CVS-анализ. Все технологии гальванической меди Dow имеют уникальное распределение меди в отверстиях от 80 до 96%.

Ванна гальванического меднения ELECTROPOSIT 1300 предназначена для плат средней степени сложности. В том числе она подходит и для процесса с предварительным меднением прямой металлизацией. Использует ток постоянного напряжения, контролируется ячейкой Холла.

Для гальванического меднения плат средней и высокой степени сложности предлагается ванна COPPER GLEAM HT-55. Использует ток постоянного напряжения, контролируется CVS.

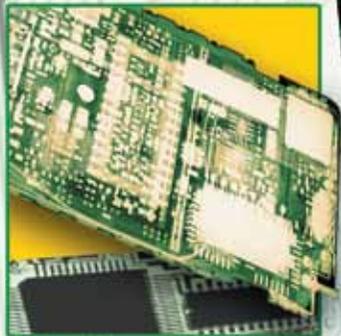
В ванне гальванического меднения COPPER GLEAM CUPULSE осуществляется осаждение с низкой частотой пульсации тока для плат 6–7-го классов точности.

Ванна заполнения глухих отверстий медью MICROFILL THF-100 используется для плат высокой степени сложности. Диаметр отверстий ПП 90–100 мкм, глубина — 100–150 мкм.

Чтобы получить гарантированный результат для металлизации ПП 6–7-го классов, целесообразно, чтобы поставщик оборудования комплексно отвечал как за конструкцию и оснащение линии, так и за запуск технологического процесса. То есть при выборе оснащения заказчику совместно с разработчиком и производителем оборудования целесообразно осуществлять также и выбор технологического процесса металлизации. Специалисты «РТС Инжиниринг» готовы решать комплексные задачи такого рода. Технологи компании проходят ежегодное обучение на предприятиях Dow в Германии и Швейцарии, что позволяет проводить запуск технологий на новых, модернизированных или на старых (при замене химикатов) ХГЛ. Высокое и неизменное качество и надежность химикатов Dow, инновационное оснащение ХГЛ разработки и производства «РТС Инжиниринг», а также высокая квалификация технологов гарантируют заказчикам изготовление на этих линиях качественных печатных плат, в том числе и 6–7-го классов точности.

## ООО «Многослойные печатные платы»

Лидер производства печатных плат в Санкт-Петербурге



**195299**  
г. Санкт-Петербург,  
ул. Киришская, 2  
тел./факс: +7 812 596 5767  
E-mail: info@oompp.spb.ru  
<http://www.oompp.spb.ru>

Производство печатных плат (до 24 слоев)

третьего, четвертого (пятого) класса точности по третьей, четвертой группам жесткости эксплуатации

# Особенности производства печатных плат 6–7-го классов точности. Как изготавливать. На что обращать особое внимание

В последнее время появилась потребность оснащать производство под выпуск многослойных печатных плат (МПП) 6–7-го классов точности. В цикле статей предлагается развернутый взгляд авторов на проблематику изготовления МПП 6–7-го классов точности.

Илья Лейтес

i\_leytes@rts-engineering.ru

Андрей Мусин

v\_musin@rts-engineering.ru

## Формирование прецизионного проводящего рисунка слоев

Причиной востребованности МПП 6-го и 7-го классов точности (назовем их прецизионными и сверхпрецизионными) стало появление комплектов, требующих высокоточного рисунка посадочных мест (на наружных слоях) и многослойной разводки их с использованием элементов рисунка, имеющего параметры линия/зазор 50–75 мкм на внутренних слоях (рис. 1).

При проектировании инновационных изделий конструкторы должны и стремятся использовать такие комплектующие, а технологи должны уметь изготавливать ПП, пригодные для их монтажа.

Ныне действующий стандарт — ГОСТ Р 53429-2009 (заменивший ГОСТ 23751, специфицировавший пять классов точности) специфицирует уже семь классов точности, основными характеристиками в нем указаны линия/зазор и гарантийный поясок.

При этом практика показывает, что при изготовлении МПП 6–7-го классов проблема металлизации отверстий с большим  $H:d$  (12:1 и более) стоит весьма остро. Кроме того, появились новые подходы при формировании структур прецизионных МПП — заполнение отверстий, послойное наращивание и т. п. (рис. 2).

Анализ проблем, возникающих при попытках изготовить такие ПП, позволяет сделать следующие заключения:

1. Если при производстве ПП переход от 2-го к 4-му классу точности (а возможно, и к 5-му классу) носил эволюционный характер, то изготовление прецизионных МПП требует реализации принципиально новых инновационных технологических решений и оснащения.
2. Процессы изготовления ПП такого уровня сложности не могут быть сведены к реализации какой-либо одной операции, а предполагают комплексный подход, поскольку на разных этапах выполняются



Рис. 1. Примеры прецизионных МПП

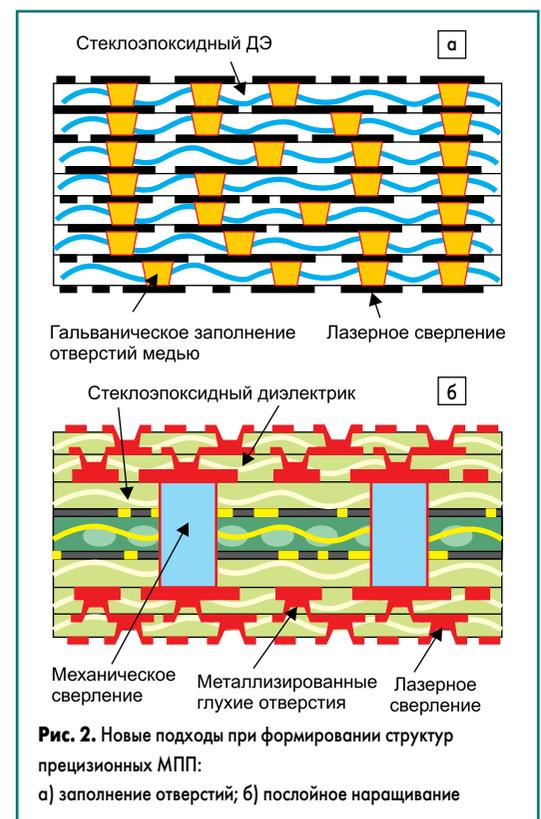


Рис. 2. Новые подходы при формировании структур прецизионных МПП: а) заполнение отверстий; б) послойное наращивание

различные элементы прецизионных печатных плат. Изготовить полноценную прецизионную ПП можно, только выполнив (предварительно оснастив производство соответствующим образом) определенный комплекс технологических этапов.

К основным технологическим этапам изготовления прецизионных ПП мы относим:

- подготовку поверхности под прецизионный рисунок;
- прямое экспонирование прецизионного рисунка;
- травление прецизионного рисунка;
- металлизацию отверстий с большим Н/d и заполнением;
- корректировку размерных изменений (при малых значениях гарантийного пояса  $(D-d)/2$ ).

Без осуществления этих этапов невозможно получить ПП с параметрами, соответствующими 6–7-му классам точности, и реализовать новые подходы при формировании структур прецизионных МПП, о которых говорилось выше. Далее более подробно рассмотрим каждый из этапов.

**Подготовка поверхности под прецизионный рисунок**

Существенное уменьшение площади проводников в рисунке ПП 6–7-го классов точности (для минимизации дефектов травления) требует увеличения адгезии фоторезиста к меди на слоях перед процессом экспонирования и последующего травления. Достаточную адгезию уже невозможно получить механической, гидроабразивной и даже стандартной химической (персульфатной) обработкой.

ООО «РТС-Инжиниринг» предлагает техпроцесс селективной химической подготовки медной поверхности от фирмы Dow (Шиплей) — DOW Circuposit Etch 3330. Техпроцесс поддерживается конвейерным оборудованием нашего партнера — фирмы «Шмид» (рис. 3). В принципе, по желанию заказчика этот техпроцесс может быть адаптирован к оборудованию других изготовителей.

Техпроцесс, который позволяет реализовать шероховатости медной поверхности, достаточные для обеспечения необходимой адгезии (рис. 4), обладает следующими преимуществами:

- поставка и корректировка концентратами;
- низкая цена концентратов;

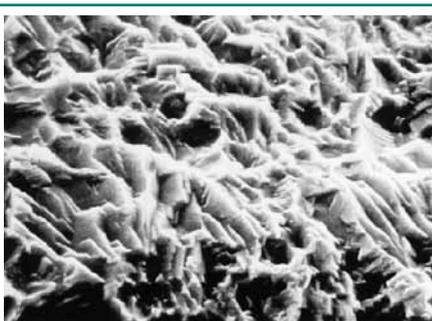


Рис. 4. Микрошероховатость по меди после подготовки раствором DOW Circuposit Etch 3330



Рис. 3. Установка микротравления (Microetching line) фирмы «Шмид»

- отличная адгезия (обеспечение высокой адгезии, в том числе для прецизионных проводников) при относительно малом снятии меди, что увеличивает промежуток времени между корректировками. Значительным преимуществом служит и то, что состав является универсальным как для подготовки под травильный фоторезист, так и под паяльную маску (ПМ).

**Прямое экспонирование прецизионного рисунка ПП**

Формирование рисунка слоев, необходимого (для 6–7-го классов точности) уровня прецизионности, в условиях рентабельного производства невозможно без использования техники прямого экспонирования (ПЭ). При формировании прецизионного рисунка традиционное оптическое экспонирование имеет ряд физических ограничений. Вот почему особенно привлекательным стало прямое экспонирование на установках ПЭ, адаптированных к работе со стандартными фоторезиста-

ми. Кроме того, использование виртуальных фотошаблонов (ФШ) резко повышает оперативность организации производственного процесса в условиях многоменклатурного выпуска изделий и позволяет снизить инвестиционные издержки (не предусматривать при оснащении «кухню» изготовления материальных ФШ).

ООО «РТС Инжиниринг» предлагает две линейки оборудования прямого экспонирования, отличающиеся высокой производительностью и разумной ценой:

- установки ПЭ компании Limata для изготовления прототипов и малых серий (рис. 5а);
- установки ПЭ Ledia компании Screen (Япония) для изготовления средних и крупных серий (рис. 5б).

Представленные установки оснащены устройствами прецизионного попиксельного экспонирования на основе цифрового микроскопа, устройствами автоматического совмещения, использующими широкий спектр реперных знаков, устройствами автофоку-



Рис. 5. Установки: а) ПЭ фирмы Limata (Германия); б) Ledia фирмы Screen (Япония)

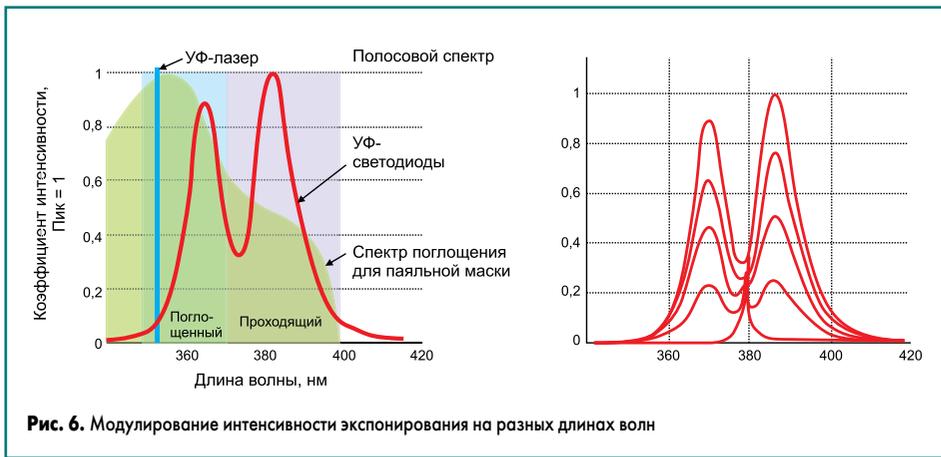


Рис. 6. Модулирование интенсивности экспонирования на разных длинах волн

сировки, производственным программным обеспечением. Оснащение установок позволяет экспонировать стандартные фоторезисты (в том числе фотоформируемую ПМ) с низкой тепловой нагрузкой на фоторезист на любых неровных коробленных поверхностях МПП, а также проводить оперативное масштабирование, необходимое в технике корректировок размерных изменений.

Основные технические характеристики установок ПЭ фирмы Limata (Германия):

- минимальная ширина проводник/зазор: 50 мкм (опция: 25 мкм);
  - производительность: до 35 сторон/ч;
  - срок службы лазера: более 20 000 ч;
  - материалы: заготовки с фоторезистом или паяльной маской. Уникальной особенностью установок ПЭ фирмы Limata является возможность экспонирования диэполенок (ДЭП), что позволяет использовать эту машину как заменитель фотоплоттера. Это может быть достаточно полезно при определенных производственных обстоятельствах.
- Основные характеристики высокопроизводительных установок ПЭ Ledia фирмы Screen (Япония):
- минимальная ширина проводник/зазор: 30 мкм (опция: 15 мкм);
  - производительность: до 288 сторон/ч (уникальной характеристикой этого оборудования является возможность модулирования интенсивности экспонирования на разных длинах волн, что позволяет обеспечивать высокую производительность по ПМ, рис. 6);

- срок службы светодиодной головки: более 20 000 ч;
- экспонируемые материалы: заготовки с фоторезистом или паяльной маской.

Уникальная особенность установок ПЭ Ledia фирмы Screen состоит в том, что она оснащена очень интересной функцией, весьма полезной в условиях реального производства. Эта функция позволяет обеспечивать сквозную маркировку заводских номеров заготовок и фрагментов, а также коэффициентов масштабирования, что необходимо для контроля и учета индивидуальных характеристик, изготавливаемых ПП в рамках системы менеджмента качества на производстве (рис. 7).

При необходимости производительность установок обеих технологических линеек может быть увеличена по желанию заказчика на его территории.

**Травление прецизионного рисунка**

Травление прецизионного рисунка в технологии изготовления МПП 6–7-го классов точности является одним из наиболее сложных (технологически) этапов. При его реализации необходимо решить следующие задачи:

- травление с большими значениями фактора травления;
- равномерность травления по всей площади заготовки.

Для выполнения процесса прецизионного травления ООО «РТС Инжиниринг» предлагает травильные машины фирмы «Шмид» (рис. 8).

В отличие от широко известных систем TFS или вакуумного травления горизонтальные машины фирмы «Шмид» используют блоки интермиттирующего (прерывистого) травления, установленные после основного блока травления, что позволяет компенсировать не только разницу скорости травления на разных сторонах («эффект лужи») заготовки, но и разнотолщинность меди на одной стороне (краевой эффект при гальванической металлизации методом «тентинг»).

Блок интермиттирующего травления с управлением линейками форсунок устраняет «эффект лужи». Такая конфигурация обеспечивает гарантированное травление прецизионного рисунка с параметрами линия/зазор — 50/50 мкм и фактором травления 4–5 в реальном производстве (рис. 9).

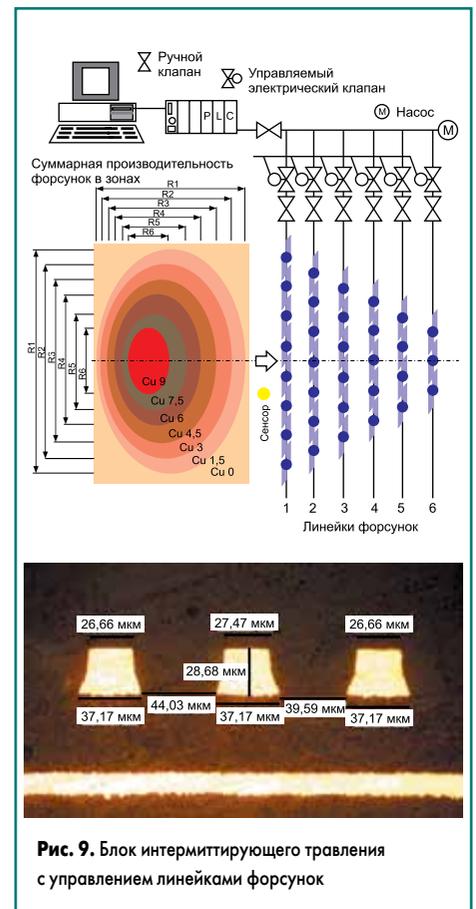


Рис. 9. Блок интермиттирующего травления с управлением линейками форсунок

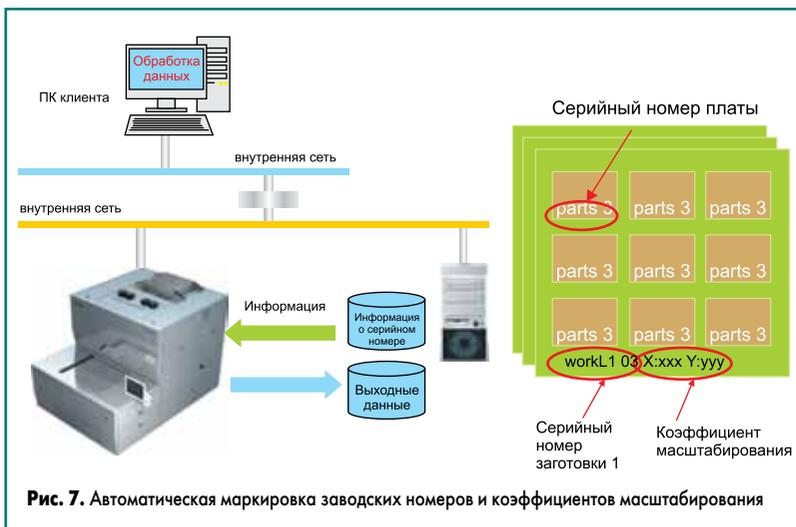


Рис. 7. Автоматическая маркировка заводских номеров и коэффициентов масштабирования



Рис. 8. Установка прецизионного травления фирмы «Шмид»

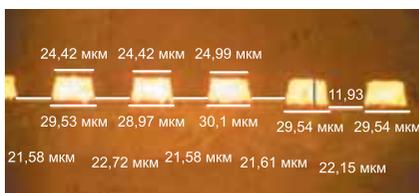


Рис. 10. Блок интермиттирующего травления с индивидуальным управлением каждой форсункой

Блок интермиттирующего травления с индивидуальным управлением каждой форсункой устраняет и «эффект лужи», и разнотолщинность, связанную с краевым эффектом

гальваники, и обеспечивает гарантированное травление прецизионного рисунка с параметрами линия/зазор — 30/30 мкм и фактором травления 6–7 в реальном производстве. С помощью этого блока можно прецизионно травить несколько заготовок, лежащих по ширине конвейера (рис. 10).

Неотъемлемой частью систем травления прецизионного рисунка ПП 6–7-го классов точности являются установки регенерации травильного раствора. При изготовлении прецизионных ПП установки регенерации обеспечивают необходимое постоянство состава рабочего раствора травления.

Фирма «Сигма» (Швеция) и ООО «РТС Инжиниринг» предлагают системы регенерации травильных растворов, уникальной особенностью которых является также регенерация промывных вод и извлечение меди чистой 99,9% (рис. 11).

Эти системы работают в связке с травильными машинами и решают задачи, актуальные для изготовления любых ПП:

- экологическую задачу (проблема утилизации травильных растворов связана с организацией их накопления и доставки на полигон для захоронения);
- задачу окупаемости (в среднем за 3–4 года) при отнюдь не маленькой цене;
- задачу организации замкнутого водооборота.

При изготовлении МПП 6–7-го классов точности установки регенерации решают очень актуальную для обеспечения равномерности травления задачу — поддержание постоянного состава рабочих растворов.



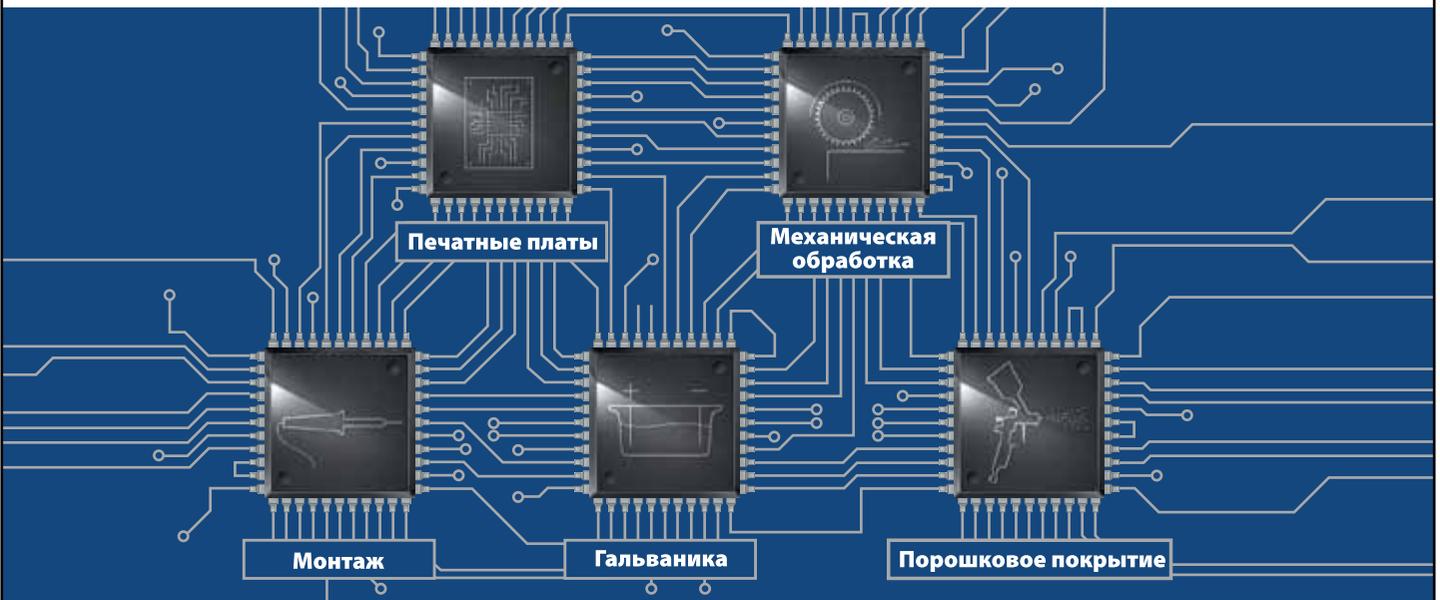
Рис. 11. Установка регенерации травильных растворов фирмы «Сигма» (Швеция)

В следующих статьях цикла мы продолжим рассмотрение основных и дополнительных технологических этапов техпроцесса изготовления МПП 6–7-го классов точности:

1. Формирование многослойной структуры прецизионных МПП. Корректировка размерных изменений.
2. Адгезионное покрытие слоев перед прессованием.
3. Маркировка струйным принтером.
4. Финишные покрытия.
5. Аналитическая лаборатория.
6. Инженерное обеспечение производства прецизионных МПП.

Продолжение следует

## ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ПРОИЗВОДСТВА ЛЮБЫХ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ



Высокотехнологичное контрактное производство, предоставляющее услуги по изготовлению печатных плат, электронных модулей, корпусных, механических деталей и узлов, стоек и электротехнических шкафов, а также нанесение защитных порошковых, гальванических и лакокрасочных покрытий

ОАО «НИЦЭВТ»  
www.nicevt.ru

117587, Москва,  
Варшавское шоссе, д. 125  
Тел. факс: +7 (495) 319-1378

Отдел заказов  
Тел.: +7 (495) 319-0627  
E-mail: ok@nicevt.ru

# Защитная паяльная маска: азы.

## Часть 2

**Чтобы не отставать от современных технологий производства, предугадывать тенденции развития и искать новые направления для разработок, специалистам необходимо четкое понимание паяльной маски как материала. В этой части статьи речь пойдет о взаимосвязи между требованиями, предъявляемыми к жидким паяльным маскам, и материалами, из которых их изготавливают.**

Никита Петров

rnd\_chemist@mail.ru

**Ж**идкая защитная паяльная маска — специальный лакокрасочный материал, обладающий способностью при нанесении его тонким слоем на печатную плату образовывать на поверхности защитную пленку. Отвержденная паяльная маска — лакокрасочное покрытие, сформировавшееся на поверхности платы после нанесения одного или нескольких слоев и обладающее достаточной адгезией к подложке и набором обеспечиваемых требуемых эксплуатационных свойств.

Согласно существующим стандартам ГОСТ Р 54849-2011 и IPC-SM-840E, к покрытиям предъявляются определенные требования:

- по внешнему виду (нанесение паяльной маски не должно ухудшать внешний вид изделия);
- химические (устойчивость к воздействию атмосферы, агрессивных газов, щелочей, кислот, химических растворов, воды, масел, растворителей, моющих средств);
- физико-химические (износостойкость, прочность, твердость, эластичность, адгезия);
- защитные (термостойкость, светостойкость, морозостойкость);
- электроизоляционные;
- по реакции на воздействие окружающей среды и др. [1].

Также требования предъявляются к составу и к входящим в состав маски компонентам.

Жидкая защитная паяльная маска по своей сути — высоконаполненная многокомпонентная чувстви-

тельная к ультрафиолетовому излучению полимерная система на основе модифицированных эпоксидных смол. В ее композицию входят также пигменты, отвердители, растворители, фотоинициаторы и добавки [2] (табл. 1).

Технологии изготовления паяльных масок различаются как по аппаратурному оформлению, так и по рецептурному составу. Каждая фирма выпускает свою серию паяльных масок с уникальным соотношением компонентов. Классы веществ порой существенно различаются друг от друга. Рецептуры паяльных масок являются коммерческой тайной компаний, не разглашаются и защищаются действующим законодательством.

### Эпоксидная основа

В целом, рассматривая химическую структуру композиционных материалов для паяльных масок, необходимо отметить, что основным элементом рецептуры, обеспечивающим важнейшие их свойства, является полимерное связующее.

До появления высокотехнологичных жидких фотоформируемых защитных паяльных масок целочного проявления использовались маски на эпоксидной основе. Они были одно- и двухкомпонентными и отверждались термически [3].

Эпоксидные смолы широко применяются в производстве лакокрасочных материалов, клеев, компаундов используются как связующие при производстве слоистых пластиков на основе стеклоткани, таких как стеклотекстолит. Отрасли применения эпоксидных смол включают в себя электротехническую и радиоэлектронную промышленность, машиностроение. Отвержденные смолы характеризуются высокой адгезией к металлам, стеклу и другим материалам, механической прочностью, химической стойкостью, хорошими диэлектрическими показателями, а также низкой усадкой в процессе отверждения. Все эти свойства как нельзя лучше подходят для использования в композиции защитной паяльной маски. Эпоксидные смолы способны отверждаться при пониженных, комнатных (холодное отверждение) или повышенных температурах (горячее отверждение). В зависимости от режимов отверждения и конечных свойств материала можно варьировать количество

**Таблица 1.** Ориентировочный состав жидких паяльных масок серии PSR-4000 (по данным японской компании Taiyo Ink)

Категория	Название	Содержание, весовой %
Смола	Модифицированная эпоксидная смола, мономер	33,6
Смола	Эпоксидная смола	10,7
Наполнитель	Сульфат бария, двуокись кремния	23
Пигмент	Фталоцианин зеленый	0,3
Катализатор	Фотоинициатор, аминосоединения	6,2
Добавка	Выравнивающий агент	1,2
Растворитель	Органические растворители	25
	Всего	100

и тип отвердителей. Горячее отверждение применяется для придания улучшенных физико-механических свойств [4].

Чтобы обеспечить возможность фотоотверждения паяльной маски под действием УФ-излучения, необходимо наличие неопределенных связей, способных к полимеризации. Эпоксидные смолы регулируют в широком диапазоне совмещением смол с различными мономерами, олигомерами и полимерами, с минеральными и органическими наполнителями. В связи с этим была проведена модификация используемых эпоксидных смол ненасыщенными соединениями. Олигомерные основы изготавливались методом проведения реакции между акриловым полимером и необходимым количеством другого функционального полимера с той целью, чтобы создать композицию, сочетающую в себе положительные свойства как акрилового, так и другого функционального полимера. Так, в состав маски Сагарасе входят модифицированная эпоксидная и акриловая смолы [5].

В настоящее время одним из перспективных направлений модификации полимеров с целью придания им заданного комплекса свойств является создание многокомпонентных систем на основе полимеров. К числу таких модифицированных олигомеров относятся и так называемые эпоксиакрилаты. Паяльные маски серии PSR-4000 (Taiyo Ink) изготавливаются на основе модифицированной эпоксидной смолы — эпоксиакрилата [6]. Сочетание виниловых мономеров и эпоксидных олигомеров придает материалам свойства, которые определяются индивидуальными характеристиками олигомеров и мономеров каждого типа. Так, присутствие в композиции эпоксидного олигомера обеспечивает высокую адгезию, ударную вязкость, упругость, химическую стойкость и твердость, влагостойкость, изоляционные свойства и другие высокие значения физико-механических характеристик. Акриловые компоненты позволяют направленно регулировать температуру стеклования, время сушки или время отверждения, способность образования поперечных связей, твердость, эластичность, сорбционные свойства и гидрофильность композиций, а также внешний вид покрытий. Существует огромное количество различных олигомеров данного класса, отличающихся как по своей структуре, так и по свойствам.

Таблица 2. Свойства эпоксиакрилатов

Показатель	Значение
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,1–1,3
$t_{\text{стекл.}}$ , °C	80–180
$\sigma_{\text{раст.}}$ , МПа	40–85
$\sigma_{\text{сж.}}$ , МПа	140–280
Модуль упругости при растяжении, МПа	2300–3900
Относительное удлинение, %	3–7
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	2–7
Твердость по Бринеллю, МПа	150–250
Твердость «по карандашу», Н	6
Температура 10%-ной потери массы при скорости нагрева 3 °C/мин, °C	220–320

Материалы на основе эпоксиакриловых олигомеров обладают уникальным комплексом ценных всех вышеперечисленных эксплуатационных свойств (табл. 2) [7]. Наличие неопределенных связей в молекуле эпоксиакриловых олигомеров обуславливает возможность их отверждения под действием УФ-облучения. Все это обеспечивает их успешное применение в качестве полимерной основы паяльной маски.

### Наполнитель

Вторым по важности компонентом паяльной маски, определяющим ее технологические, реологические и эксплуатационные свойства, является наполнитель, частицы которого равномерно распределены в среде жидкого связующего. При правильном подборе компонентов и их соотношения в системе «пигмент–наполнитель» можно изменить и улучшить свойства композиции: придать определенную вязкость, улучшить разлив, предотвратить оседание пигментов, повысить прочность, атмосферостойкость и теплостойкость готового покрытия.

Наполнители — это высокодисперсные вещества неорганического происхождения, которые вводятся в состав только непрозрачных лакокрасочных материалов. Наполнители не растворяются в растворителях, воде, олифах и других дисперсионных средах. Большинство материалов, используемых в качестве наполнителей, белого цвета либо слегка окрашены.

Введение наполнителей в композицию паяльной маски преследует две цели: придание особых заданных свойств жидкой маске и готовому защитному покрытию, а также удешевление (снижение себестоимости) материала за счет сокращения количества дорогостоящей полимерной основы в композиции и замены дорогого пигмента более дешевыми наполнителями.

К наполнителям предъявляются следующие требования:

- хорошая смачиваемость жидким полимером/растворителями;
- способность совмещаться с полимером с образованием однородной массы (для дисперсных наполнителей), а также с пигментами и другими компонентами;
- обеспечение требуемых свойств и неизменность их при хранении и переработке;
- минимальная стоимость.

Так как жидкие фоточувствительные паяльные маски обеспечивают возможность получения изображения с высоким разрешением и точностью совмещения около  $\pm 0,1$  мм, частицы наполнителя должны иметь максимальную дисперсность. Размер частиц наполнителя лежит в диапазоне 0,5–40 мкм; предпочтительнее использовать наполнители с размером частиц не более 12 мкм. Также к паяльным маскам предъявляются требования по твердости, химстойкости и устойчивости к высоким температурам. Все они должны учитываться при выборе наполнителя. Обычно в качестве наполнителей в составах жидких паяльных



Рис. 1. Сульфат бария

масок используются сульфат бария и диоксид кремния (рис. 1).

Сульфат бария химически инертен, поэтому используется в производстве специальных химически стойких лакокрасочных материалов. При добавлении в состав лакокрасочных материалов он придает им дополнительную устойчивость к химическим воздействиям, а также высокую твердость и термостойкость. Также сульфат бария обеспечивает хорошую адгезию композиции к металлам, что актуально для печатных плат.



Рис. 2. Диоксид кремния (аэросил)

Диоксид кремния (аэросил) — практически чистый оксид кремния, синтетический кремнезем, с очень высокой степенью дисперсности (0,02–0,15 мкм). Введение аэросила придает материалам тиксотропные свойства, а готовому защитному покрытию — матовость (рис. 2).

### Пигмент

Цвет жидкой паяльной маски определяется входящим в состав пигментом (рис. 3). Пигменты — тонкодисперсные (органические или неорганические) окрашенные порошки, которые обеспечивают декоративные свойства лакокрасочных материалов, такие как цвет и блеск, а также влияют на конечные свойства покрытия (светостойкость, химическая и атмосферостойкость). Пигменты практически нерастворимы в растворителе, воде или пленкообразующих веществах.

Для обеспечения жидкой паяльной маской требуемых свойств пигменты, входящие в состав, должны быть высокого качества. Качество самих пигментов характеризуется совокупностью их технологических и эксплуатационных свойств, вытекающих из требований, предъявляемых к ним и паяльной маске.

К основным требованиям, предъявляемым к пигментам, относятся:

- Светостойкость — способность пигментов сохранять свой цвет под действием солнеч-



Рис. 3. Печатные платы с нанесенной паяльной маской различного цвета

Пигменты обеспечивают декоративные свойства и формируют внешний вид печатной платы. Цвет играет важную роль и в дальнейших производственных циклах, таких как маркировка, монтаж, визуальный входной и выходной контроль. При визуальном входном контроле печатных плат яркие цвета и отличия в цвете маски могут привести к повышению утомляемости персонала и увеличению числа ошибок, так как при изменении цвета маски становится сложнее различать проводники под ней и контролировать их качество. При выходном визуальном контроле после монтажа, если паяльная маска имеет черный или белый цвет, контроль наличия и качества установки мелких компонентов усложняется. Также следует помнить, что режимы разводения, нанесения, экспонирования и отверждения масок различных цветов могут отличаться между собой и необходимо это учитывать для получения качественного масочного покрытия.

ного света и УФ-излучения. Так как процесс получения изображения на печатной плате происходит путем экспонирования паяльной маски, то данный параметр обязательно должен выдерживаться. Пигмент должен выдерживать мощные воздействия УФ при экспонировании. Не допускается обесцвечивание паяльной маски и изменение цвета печатной платы от партии к партии. Сам цвет маски также влияет на выбор режима экспонирования: чем темнее покрытие, тем больше энергии требуется для полимеризации.



Рис. 4. Органические пигменты

### Катализатор

Так как в процессе формирования паяльной маски на печатной плате она проходит стадии экспонирования и термического отверждения, в ее состав должны входить и фотоинициаторы, и отвердители. Энергия применяемых в промышленности источников УФ-излучения недостаточна для непосредственного гомолитического расщепления двойных связей олигомерной основы жидкой паяльной маски, поэтому используют класс веществ, называемых фотоинициаторами.

Фотоинициаторы — функциональные добавки в лакокрасочных материалах радиационного отверждения. Эти химические соединения поглощают УФ-излучение и начинают генерировать свободные радикалы, которые, вступая во взаимодействие с двойными связями модифицированных эпоксидных смол, приводят к радикальной полимеризации (рис. 5). В результате масочный слой из жидкого состояния переходит в твердое, образуя при этом пространственно-сетчатую структуру. Существуют несколько различных классов фотоинициаторов, различающихся как по механизму образования радикалов, так и по активности и оптимальной области применения.

Фотоинициатор должен соответствовать следующим требованиям:

- высокая реакционная способность;
- стабильность при хранении в темноте;

- Атмосферостойкость — способность пигментов выдерживать без разрушения и изменения цвета воздействие внешней среды: кислорода, CO<sub>2</sub>, других газов, содержащихся в воздухе, воды, замораживания и оттаивания. Поскольку в процессе эксплуатации печатные платы могут подвергаться неблагоприятным воздействиям, данный параметр должен быть выдержан. Если пигмент разрушается со временем, образуя пористое покрытие, пропускающее жидкости и газы, это приведет к разрушению покрытия маски, коррозии проводников и выходу оборудования из строя.
- Химическая стойкость — способность пигментов противостоять действию кислот и щелочей. В процессе изготовления и эксплуатации печатная плата испытывает воздействие агрессивных технологических (флюс, припой, промывочные жидкости) и природных сред, поэтому входящий в состав пигмент должен выдерживать подобное воздействие.
- Теплостойкость — способность пигмента выдерживать действие высоких температур без изменения цвета и разложения. Паяльная маска обеспечивает термическую защиту печатной платы и должна выдерживать температуры пайки, которые достигают +220...+260 °С. В процессе изготовления печатной платы, после нанесения, экспонирования и проявки, масочное покрытие отверждается при температурах порядка +150 °С в течение часа. Соответственно, входящий в состав пигмент должен выдерживать данный температурный режим.

Паяльная маска является изоляционным покрытием, и к ней предъявляются требования по диэлектрической прочности, поэтому важным параметром является неспособность компонентов состава проводить или накапливать электрический заряд. Для этой цели необходимо использовать органические пигменты. Это, как правило, органические красители, переведенные в нерастворимую форму (рис. 4). От неорганических они отличаются большей интенсивностью окраски, разнообразием и чистотой тонов, но при этом имеют меньшую свето-, атмосферо- и химическую стойкость. Наибольшее распространение получили азопигменты, фталоцианиновые и полициклические пигменты. Фталоцианиновые пигменты имеют синий, голубой и зеленый цвета. Это одна из самых устойчивых к УФ, нагреву и химическим воздействиям группа органических пигментов [10].

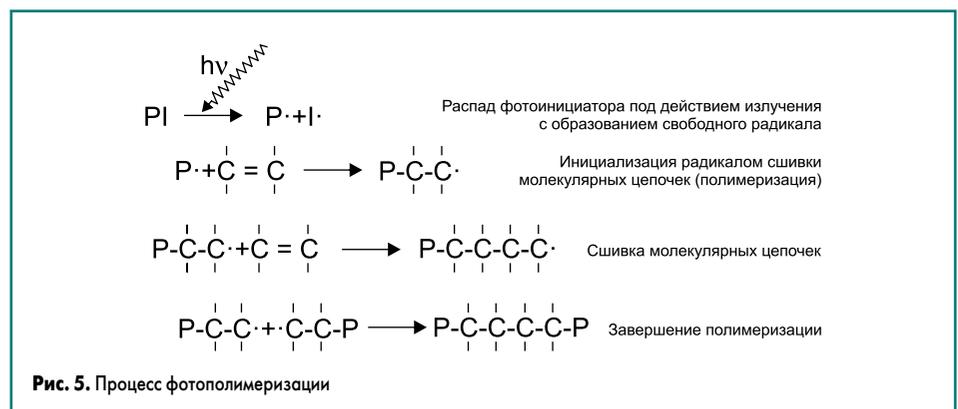


Рис. 5. Процесс фотополимеризации

- термическая стабильность;
- хорошая растворимость в композиции паяльной маски;
- отсутствие запаха и низкая токсичность.

Фотоиницирование зависит от интенсивности освещения и температуры. Чем они выше, тем выше скорость полимеризации и короче время экспонирования паяльной маски. Для получения качественного защитного покрытия важно хранить маску вдали от источников УФ-лучей и работать с ней в неактивном освещении.

В качестве термического отвердителя паяльной маски используют различные аминсоединения для горячего отверждения модифицированных эпоксидных смол, так как высокие физико-технические свойства эпоксидных композиций получаются именно при горячем отверждении. Процесс отверждения эпоксидных смол аминсоединениями достаточно изучен, отработан и описан во многих изданиях, посвященных полимерным материалам [4].

Отвердитель должен соответствовать следующим требованиям:

- хорошо совмещаться с остальными компонентами в композиции паяльной маски;
- при температурах ниже +80...+100 °С образовывать с композицией маски стабильные системы;
- обеспечивать отвержденному покрытию заданные требуемые эксплуатационные свойства.

В настоящее время широкий ассортимент аминных отвердителей для эпоксидных смол позволяет в широких пределах варьировать технологические свойства неотвержденных композиций, такие как вязкость, жизнеспособность, время отверждения, а также целенаправленно регулировать прочностные, диэлектрические и теплофизические характеристики материалов на их основе после отверждения.

### Растворители

Растворители — жидкости или смеси жидкостей, способные растворять олигомерную основу паяльной маски. Они обеспечивают возможность нанесения паяльной маски различными способами на подложку. При использовании для корректировки технологических свойств (вязкости) их также называют разбавителями. В зависимости от предполагаемого способа нанесения используют различные количества растворителя в композиции паяльной маски. Самые вязкие маски с низким содержанием растворителя используют для нанесения методом сеткографии, а для нанесения методами распыления или поливом количество растворителя должно быть увеличено.

Растворители должны соответствовать следующим требованиям:

- полностью совмещаться с компонентами композиции паяльной маски, хорошо смачивать наполнитель и пигмент и быть летучими при данных условиях пленкообразования;
- полимер должен образовывать с растворителем однородную стабильную систему во всех областях концентрации и в широком диапазоне температур.

В настоящее время существует огромный ассортимент органических растворителей для различных лакокрасочных материалов. Для эпоксидных систем применяются бутилацетат, толуол, ксилол, бутиловый спирт, этилцеллозольв, ацетон и др. [11].

### Добавки

Содержание других компонентов и добавок в композиции паяльных масок невелико, они служат только для улучшения процессов нанесения и придания маскам специфических свойств.

Добавки — вещества, которые влияют на отдельные химические или технологические свойства и обычно добавляются в небольших количествах для придания специальных свойств. Выделяют следующие виды функциональных добавок: загустители (модификаторы реологии), биоциды, поверхностно-активные вещества, диспергаторы, пеногасители, светостабилизаторы, ускорители отверждения, антиоксиданты, матирующие добавки, улучшающие розлив, промоторы адгезии, блескообразователи и т. д.

Выбор типа специальных добавок зависит от следующих факторов:

- качественный и количественный состав композиции паяльной маски;
- тип и качество сырья;

- совместимость компонентов, входящих в состав;
- оборудование и технологический процесс изготовления маски;
- оборудование и процесс нанесения и отверждения паяльной маски и др.

Таким образом, жидкие защитные паяльные маски имеют разнообразный и очень сложный состав. В зависимости от фирмы-производителя и типа паяльной маски могут использоваться различные классы веществ; может быть различным как качественный, так и количественный состав композиции. Развитие электронной промышленности стимулирует поиск новых классов веществ, модификации существующих рецептур и разработку новых паяльных масок для решения различных проблем, возникающих при использовании их при производстве печатных плат. Об этом мы поговорим в следующей части статьи. ■■■

### Литература

1. ГОСТ Р 54849-2011 «Маска паяльная защитная для печатных плат. Общие технические условия».
2. Смертина Т. Технология нанесения и обработки жидких защитных паяльных масок. Часть 2 // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 1.
3. Петров Н. Защитная паяльная маска: с самого начала. Часть 1 // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 4.
4. Воробьев А. Эпоксидные смолы // Компоненты и технологии. 2003. № 8.
5. Материалы компании Electra polymers.
6. Материалы компании Taiyo Ink.
7. Энциклопедия полимеров. М. 1974. Том 2.
8. Герасимова Л. Г., Скороходова О. Н. Наполнители для лакокрасочной промышленности. М.: ООО «Издательство «ЛКМ-пресс». 2010.
9. Калинин Т. В., Дринберг А. С. Цветные пигменты. М.: ООО «Издательство «ЛКМ-пресс». 2013.
10. Акулин А. Какой цвет паяльной маски лучше? Материалы компании PCB Technology.
11. Дринберг С. А., Ицко Э. Ф. Растворители для лакокрасочных материалов. Справочное пособие. Л.: Химия. 1986.

АКСИОН

ОАО «Ижевский мотозавод «Аксион-холдинг»

ПРОЕКТИРУЕТ,  
ОСУЩЕСТВЛЯЕТ ИЗГОТОВЛЕНИЕ  
И МОНТАЖ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ  
ДО 5 КЛАССА ТОЧНОСТИ ВКЛЮЧИТЕЛЬНО,  
 ГИБКИЕ И ГИБКО-ЖЕСТКИЕ,  
 СВЧ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

НА ПРЕДПРИЯТИИ ДЕЙСТВУЕТ ПРИЁМКА «5»  
 ГИБКИЕ СРОКИ И УСЛОВИЯ ОПЛАТЫ

Тел./факс (3412) 60-13-27, [www.axion.ru](http://www.axion.ru)  
e-mail: [pcb.karaev@mail.ru](mailto:pcb.karaev@mail.ru), [otdel000107@mail.ru](mailto:otdel000107@mail.ru)

Продолжение. Начало в № 4'2015

# Начальный курс производства электроники. Часть третья-бис. Подробнее о многослойных печатных платах

Аркадий Медведев  
Аркадий Сержантов

## Сборка слоев МПП

Цели:

- Сборка тонких жестких оснований и листов препрега в правильной последовательности.
- Обеспечение совмещения слоев относительно друг друга.

Правильная сборка позволяет избежать коробления платы. Для этого необходимо придерживаться следующих простых требований:

1. Относительно условного центра платы должны быть симметричны:
  - Толщина диэлектрического слоя.
  - Плотность рисунка каждого слоя.
  - Толщина медной фольги.
  - Направления трассировки при ортогональном проектировании топологии проводников.
  - Количество листов препрега.
2. Предпочтительно, чтобы количество слоев было четным.
3. Должны совпадать направления переплетения всех тонких оснований и листов препрега.
4. Должны использоваться материалы одной марки и с близкими датами изготовления.

### Предварительная подготовка к сборке слоев

Перед проведением сборки должны быть проведены описанные ниже операции.

### Тонкие основания

Все тонкие основания слоев должны быть:

- Снабжены фиксирующими отверстиями, если используется штыревая система совмещения (Pin-Lam), или на технологическом поле слоев должны быть выполнены реперные знаки, привязанные к рисунку слоя.
- Должен быть вытравлен рисунок схемы на обеих сторонах слоя или с одной стороны, если это внешний слой платы. Переходные отверстия, если они есть на слое, должны быть металлизированы.
- Поверхности слоев должны быть очищены абразивами и/или микротравлением или химически.

- Оксидированы для улучшения адгезии смолы и меди. Чаще всего используют черный оксид, однако в последнее время появилась тенденция применения коричневого и красного оксидов.
- Прогреты в печи для удаления из них влаги и других летучих компонентов, способных привести к расслоению платы и образованию пустот.
- Проверены направления плетения армирующих оснований.
- Проверены значения толщины оснований.
- Протестированы на наличие разрывов, коротких замыканий, неполного травления и ширины проводников. Обычно для этого используют системы автоматической оптической инспекции (АОИ), так как при современной плотности рисунков плат визуальный контроль не способен обеспечить требуемую достоверность.

### Листы препрега

Все листы препрега должны быть:

- Требуемого размера (не из лоскутов).
- Тщательно высушены.
- Снабжены крепежными отверстиями по возможности чуть большего диаметра для обеспечения входа штырей пресс-формы.
- Проверены направления плетения.
- Проверены значения толщин.
- Определено время гелеобразования (методику см. далее).

### Совмещение многослойных плат

Для правильного совмещения всех слоев относительно друг друга с учетом предстоящего сверления используются пресс-формы, снабженные базовыми штырями. Во всех слоях должны быть пробиты фиксирующие (базовые) отверстия. Существует несколько способов совмещения. Хронологически все развивалось от простой системы с 4 штырями до системы совмещения на основе 14 базовых штырей по всему периметру платы.

При изготовлении 4-слойных плат нет особой необходимости в использовании системы совмещения. Если же производятся платы с большим количеством слоев (10 или 12), производителю следует вы-

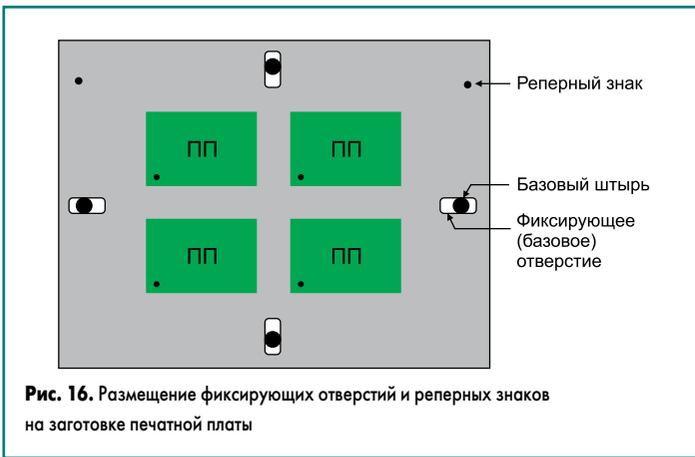


Рис. 16. Размещение фиксирующих отверстий и реперных знаков на заготовке печатной платы

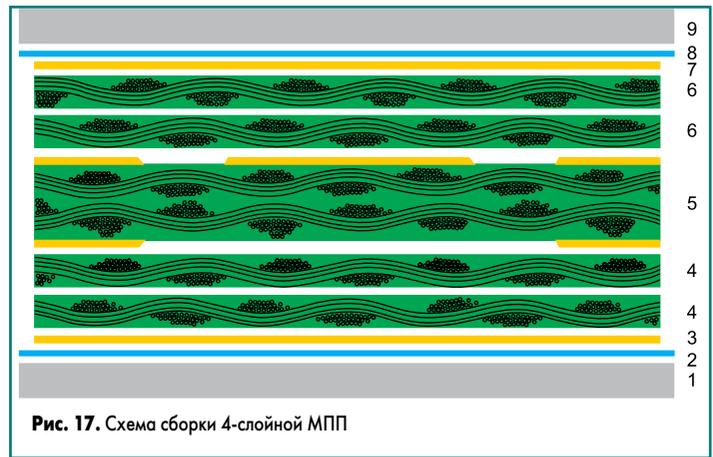


Рис. 17. Схема сборки 4-слойной МПП

брать систему совмещения, обеспечивающую требуемую точность.

Показанная на рис. 16 система совмещения позволяет обеспечить точность совмещения 0,20 мм. При этом если контактные площадки на внутренних слоях на 0,4 мм больше просверливаемых отверстий, совмещение будет обеспечено, то есть отверстие не выйдет за пределы контактной площадки. Если при проектировании будет заложен размер кольцевого ободка вокруг отверстия 0,2 мм, а максимально допустимая погрешность совмещения — 0,195 мм, то это обеспечит минимальную конечную ширину ободка вокруг отверстия (гарантийный пояс) — 0,05 мм.

Для обеспечения совмещения элементов межсоединений в многослойных структурах МПП должны быть выполнены следующие шаги:

- Все внутренние слои должны быть снабжены реперными знаками, по которым позиционируют оптический прицел пробивочного станка.
- Все технологические операции должны быть выполнены в одинаковой климатической среде, чтобы обеспечить корректную работу программ сверления и совмещение всех пленок относительно друг друга.
- После травления следует произвести пробивку фиксирующих отверстий всех слоев на одном оборудовании.
- После сборки слоев и прессования заготовки устанавливаются на сверлильный стол со штыревой системой базирования, аналогичной используемой при прессовании.

При правильном использовании описанная система установки обеспечивает хорошую точность совмещения. Еще большую точность совмещения (по крайней мере в два раза) обеспечивает современная система, названная Mass-Lam. В этой системе не используются фиксирующие штыри. Нет их и на пресс-форме. Для совмещения предусмотрены лишь реперные знаки на слоях, по которым они совмещаются до прессования и фиксируются тем или другим способом: склеиваются, склеиваются или локально (по технологическому полю) спрессовываются. После прессования реперные знаки на внутренних слоях вскрываются торцевой фрезой и по ним высверливаются базовые отверстия. При этом возникает возможность «располовинить» погрешности совмещения, то есть уменьшить их в два раза относительно старой системы Pin-Lam.

### Процесс сборки слоев

Процесс сборки слоев следует проводить в чистых условиях. Все верхние и нижние поверхности тонких оснований и слоев препрега предварительно должны быть очищены антистатической щеткой от всех посторонних частиц, таких как пыль. На рис. 17 показана сборка 4-слойной платы. Пояснения всех индексов рисунка приведены ниже.

Схема сборки:

1. Плита пресс-формы с базовыми штырями (на рисунке не показаны), предназначенными для того, чтобы потом поочередно насаживать на них все слои платы и препрега.
2. Покровный лист (антиадгезионная пленка фторопласта или арелокса).
3. Первый слой платы может быть представлен в нескольких вариантах:  
 А — тонкое основание, протравленное с одной стороны и покрытое медью с другой (направленной вниз);  
 В — тонкое основание без проводников с внутренней стороны и с медной фольгой с другой (направленной вниз);  
 С — лист медной фольги, как на рис. 14.
4. Листы препрега накладываются в нужном количестве, нужной толщины и с требуемой стеклотканью, при необходимости в комбинации с жесткими основаниями для достижения необходимой толщины слоя диэлектрика.
5. Внутренний слой.
6. Листы препрега (см. п. 4).
7. Последний слой сборки накладывается, как было описано в п. 3, только в обратном направлении, так чтобы медный слой был снаружи сборки.
8. Сверху укладывают покровный лист (см. п. 2).
9. Поверх всех слоев кладут верхнюю часть пресс-формы. Базовые штыри не должны выдаваться за пределы плиты пресс-формы. Пресс-форма обычно позволяет прессовать до шести плат толщиной 1,6 мм каждая. Поэтому шаги 2–8 могут быть повторены несколько раз перед выполнением 9-го шага. Между пакетами сборки (между слоями 8 и 2) в таком случае кладется пластинка из нержавеющей стали для разделения сборок плат.

### Прессование

Цель: скрепление всех внутренних слоев и листов препрега в твердую печатную плату.

### Процесс

Процесс основан на действии создаваемых прессом температуры и давления. Расплавленная под действием температуры эпоксидная смола в составе листов препрега под давлением проникает и заполняет все открытые области между слоями платы. После этого она полимеризуется до твердого состояния, в результате чего происходит «схватывание» и отверждение всех слоев.

### Оборудование для прессования

Наиболее часто используют гидравлический пресс. Пресс-форма с размещенной в ней стопкой слоев помещается в один из просветов пресса, образованных сдавливающими плитами. Плиты нагреваются паром или электричеством. Для равномерного распределения давления и тепла они должны быть абсолютно плоскими и достаточно толстыми.

В последнее время применяется и вакуумное прессование. На первом этапе при расплавлении эпоксидной смолы из стопки слоев удаляют всю влагу, воздух и растворители. Это позволяет использовать более низкое давление пресса и уменьшает сдвиг слоев платы, предотвращая их рассовмещение. Таким образом, к преимуществам вакуумного прессования можно отнести более точное совмещение слоев и устранение пустот между ними.

Вакуумное прессование проводится несколькими способами. Можно разместить в вакуумной камере весь пресс, можно поместить пресс-форму в вакуумную сумку, а последнюю — в пресс.

### Время гелеобразования

Время гелеобразования — короткий период в цикле прессования, в котором эпоксидная смола находится в жидком состоянии, необходимом для ее выделения из листов препрега и заполнения всех пустот медного рисунка тонких оснований. За пределами этого времени смола густеет (приобретает гелеобразное состояние) и затем твердеет.

Применяется два вида препрега — ow gel и high gel с временем гелеобразования 70–150 и 150–280 с соответственно. Выбор определяется реализуемым циклом прессования.

### Цикл прессования

Существует множество разновидностей технологий прессования, они делятся на одно- и двухстадийные.

### Двухстадийный цикл прессования

Показанный на рис. 18 цикл прессования используется в основном для многослойных плат с большим количеством слоев и высокой плотностью рисунка. Учитывая, что пресс предварительно разогревают до 177 °С, при помещении в него пресс-формы может произойти преждевременное вытекание избыточной смолы из заготовки. Для предотвращения этого явления устанавливают термоизоляцию, прокладывая между плитами пресса и пресс-формой специальную прокладку, состоящую из листов плотного картона или подобного материала.

На время нагрева слоев устанавливают низкое давление — от 0,7 до 1,8 кг/см<sup>2</sup>. Очень важно знать, в какой момент установить полное давление. Обычно рассматривается так называемое окно прессования, или момент смыкания плит пресса для создания давления (на рисунке — интервал «О»). Это происходит в пределах температур 70–140 °С. В процессе нагрева смола сначала плавится, а затем полимеризуется. Если полное давление подать на ранней стадии — из препрега будет выдавлено слишком много смолы через открытые края стопки, что приведет к ее недостатку в плате. Если же применить полное давление слишком поздно, то из-за недостаточной пропитки платы смолой будут образованы межслойные пустоты. В двухстадийном цикле прессования используют препрег high gel с временем гелеобразования 150–280 с (в зависимости от его марки и типа).

Полное давление в пределах 10–20 кг/см<sup>2</sup> должно быть установлено за некоторое время до полной полимеризации смолы. Его выдерживают в течение 60 мин при температуре плит пресса 177 °С, после чего плату остужают.

Охлаждение платы может быть проведено в «холодном прессе». Для этого все еще горячую пресс-форму с заготовками помещают в другой пресс, где она остывает под небольшим давлением. Так как в полученной после прессования заготовке плат полное отверждение еще не закончено, проводят ее финишное отверждение (термостабилизацию), выдерживая ее не менее 4 ч в печи при температуре 150 °С.

### Одностадийный цикл прессования

При данном цикле прессования используют препрег low gel с временем гелеобразования 70–150 с. Как видно из названия, на все время прессования (60 мин) сразу устанавливают полное давление. Большая его величина — около 25 кг/см<sup>2</sup> — обусловлена меньшим содержанием смолы в препреге и его меньшим временем гелеобразования. Процессы охлаждения и дополнительного термоотверждения аналогичны описанным для двухстадийного цикла прессования.

Благодаря своей более простой реализации одностадийный цикл прессования используется чаще — до 90% объема производства многослойных плат с небольшим количеством слоев.

После охлаждения плату вынимают из пресс-формы и отрезают выдвленную и затвердевшую по ее краям смолу (облой).

### Сверление и очистка отверстий

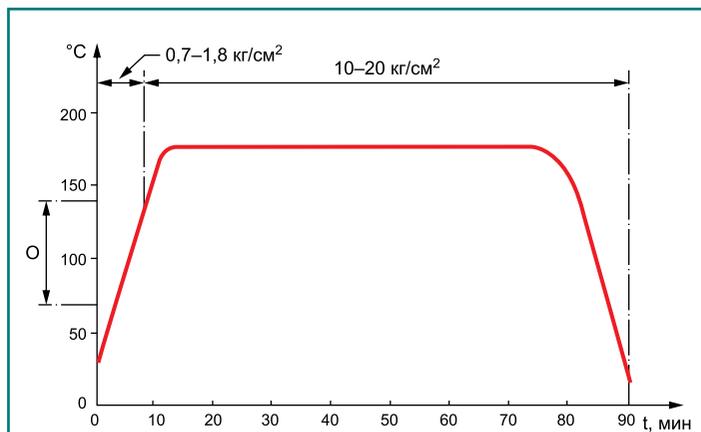
Цель: формирование отверстий и удаление из них возможных следов расплавленной смолы, чтобы после проведения металлизации отверстий обеспечить надежное соединение с внутренними слоями.

Процесс, за исключением операций сверления и удаления замасливания, аналогичен описанному в предыдущих статьях [1–3].

### Сверление отверстий

По большому счету, сверление отверстий производят по той же методике, что и для двусторонних ПП [1]. Однако вследствие повышенных требований к отверстиям условия сверления отличаются. Чтобы снизить нагрузку на основание платы, сверление следует производить более плавно. Необходимо соблюдать следующие предосторожности:

- Меньшая толщина стопки: лишь 1–2 платы по сравнению с 3–4 двусторонними. Это позволяет сократить нагрев сверла, что продлевает срок его службы и уменьшает замасливание стенок отверстий расплавленной смолой.
- Как правило, плату накрывают накладкой, например из гетинакса или алюминиевой фольги, а под плату кладут специальную подкладку. Использование таких накладок и подкладок позволяет сни-



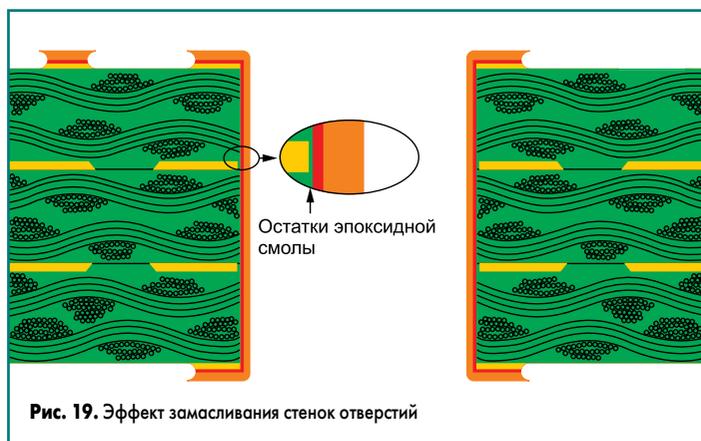
**Рис. 18.** Режимы прессования пакета слоев МПП: изменение температуры и давления во времени

зить температуру сверла и предотвратить образование заусенцев на внешних слоях платы.

- Скорость вращения и подачи сверла обычно снижают по сравнению со сверлением двусторонних плат, чтобы уменьшить нагрев сверла и предотвратить возникновение гвоздевого эффекта.
- Допустимое количество просверливаемых одним сверлом отверстий — от 1000 до 2000 (сравните: для двусторонних плат — 4000–5000). Это обеспечивает меньшее затупление сверл и, соответственно, снижает их нагрев при сверлении.
- Теоретически, после сверления 1000–2000 отверстий сверла становятся непригодными и подлежат утилизации. Однако на производстве их перезатачивают до двух раз и используют для сверления двусторонних плат, где их снова перезатачивают два-три раза. Это становится возможным по причине меньших требований к качеству отверстий ДПП.

### Проблемы сверления отверстий в стеклоэпоксидных основаниях Слой эпоксидной смолы

При сверлении режущие кромки сверл сильно нагреваются, за счет чего происходит плавление и запекание смолы на стенках отверстий. Поэтому следует выполнять описанные выше рекомендации по сверлению. Но возможность замасливания возникает в любом случае, однако нельзя исключать вероятность образования подобного покрытия смолой стенок отверстий, включая кромки контактов внутренних слоев (рис. 19). Если его не удалить, смола образует изоляционный слой и нарушит требуемое электрическое сопротивление слоев с металлизацией отверстия. Таким образом, очень важно произвести удаление образующегося слоя смолы.



**Рис. 19.** Эффект замасливания стенок отверстий

### Гвоздевой эффект

Гвоздевой эффект — явление утолщения медного слоя контактных площадок на границе прохождения сверла (рис. 20) — возникает при

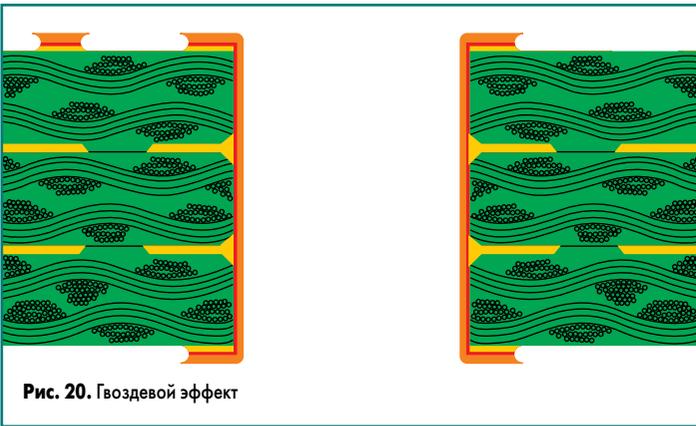


Рис. 20. Гвоздевой эффект

нарушении режимов сверления. В итоге толщина контактов в этих местах может быть увеличена вдвое при особо неблагоприятных условиях, таких как неверная скорость вращения или подачи сверла, износ сверла и нарушение его геометрии. Утолщенная вследствие гвоздевого эффекта медь грубеет, что приводит к образованию трещин в металлизации отверстий.

### Заусенцы

Заусенцы — кромки неправильной формы по краям просверленных отверстий (рис. 21). Образуются заусенцы из-за нарушения параметров сверления — геометрии сверла, недостаточного скрепления оснований во время сверления, неподходящих накладочного и подкладочного материалов или же при наличии пыли между ними и основанием платы.

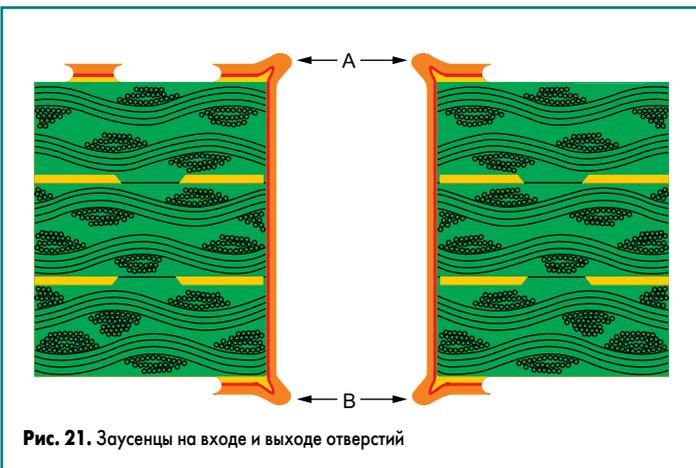


Рис. 21. Заусенцы на входе и выходе отверстий

За счет неравномерности электрического поля во время гальванической металлизации заусенцы интенсивнее покрываются медью. В итоге их покрытие приобретает более грубую структуру, что при последующей пайке может привести к образованию в них трещин. При сверлении следует избегать возникновения заусенцев, а при необходимости удалить их мелкой шкуркой. Но в результате шлифовки заусенцы могут быть вдавлены в отверстие, а значит, диаметр входа в отверстие (А на рис. 21) уменьшится. Неустраненные заусенцы приводят к утолщению металлизации краев (В на рис. 21) и возможности их скалывания в процессе сборки-монтажа печатных узлов.

### Очистка отверстий

#### Удаление слоя смолы

Для обеспечения хорошего контакта с металлизацией отверстий очень важно, чтобы торцы контактных площадок внутренних слоев не были загрязнены смолой. Для этого со стенок отверстий необходимо удалить все остатки смолы. Такое удаление достигается с помощью сильных кислот — концентрированной серной кислоты или перманганата хромовой кислоты. При этом очень важно выдерживать

требуемое время погружения платы в очищающий раствор. Если плату передержать в кислоте, произойдет излишнее подтравливание стенок отверстий, то есть вытравливание из них смолы с оголением волокон стеклоткани. В случае же неполного травления слой смолы будет удален лишь частично.

### Подтравливание диэлектрика

В течение многих лет для обеспечения надежности соединений требовалось обязательное подтравливание диэлектрика величиной 75 мкм. Но при этом ослаблялась электроизоляционная конструкция МПП. Поэтому в дальнейшем допускалось лишь легкое подтравливание диэлектрика порядка 25 мкм.

В процессе подтравливания из стенок отверстий начинают выдаваться края контактных площадок внутренних слоев (рис. 22). Предполагалось, что таким образом улучшается их контакт с металлизацией отверстий. Однако при этом слой металлизации отверстий оказывается растянутым и неравномерным, что может приводить к образованию в нем трещин. Вот почему в настоящее время уже не используется глубокое подтравливание диэлектрика.

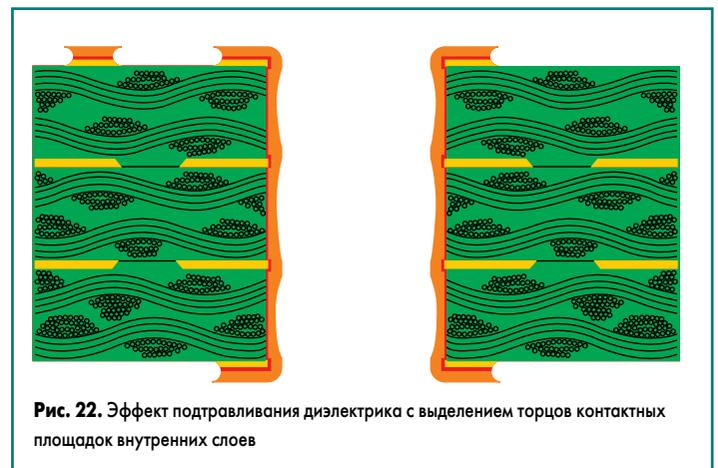


Рис. 22. Эффект подтравливания диэлектрика с выделением торцов контактных площадок внутренних слоев

При сильном подтравливании диэлектрика становится необходимым удаление волокон стеклоткани, выдающихся из стенок отверстий, так как в образующемся стеклянном ворсе остается много технологических загрязнений, металлизация поверх них нежелательна. Удаление этих волокон достигается применением очень сильных кислот, например плавиковой кислоты, что недопустимо из экологических соображений.

В связи с этими соображениями в последнее время повсеместно используется так называемая перманганатная очистка отверстий, обеспечивающая ровное подтравливание с качественной очисткой стенок отверстий от наноса смолы.

### Завершение многослойной платы как двусторонней

После прохождения всех вышеописанных стадий многослойная плата подвергается финишным процессам, аналогичным применяемым при производстве двусторонних ПП:

- Химическое меднение отверстий.
- Формирование рисунка внешнего слоя.
- Тентинг крепежных отверстий.
- Металлизация рисунка и отверстий.
- Снятие резиста металлизации.
- Травление.
- Снятие олова-свинца или олова для плат SMOBC (слой припоя в качестве резиста травления на медном основании).
- Нанесение фотополимерного масочного покрытия.
- Финишные покрытия.
- Маркировка.
- Фрезерование контура.
- Золочение концевых контактов.

# Манипуляторы для поверхностного монтажа электронных модулей

**Применение манипуляторов для поверхностного монтажа электронных модулей в опытном и мелкосерийном производстве может обеспечить приемлемую точность позиционирования и в несколько раз повысить производительность по сравнению с вакуум-пинцетом.**

**Владимир Ланин**

vlanin@bsuir.by

**Алексей Васильев**

Тенденции современной электронной промышленности к уменьшению габаритных размеров плат и увеличению плотности монтажа повышают требования к оборудованию, предназначенному для сборки и ремонта электронных изделий. Сокращение размеров электронных компонентов не только коснулось производителей массовых изделий, но и превратилось в проблему для мелкосерийных изготовителей, подтолкнув их к началу механизации и автоматизации сборочно-монтажного производства. Самое бюджетное решение на данном этапе — манипулятор установки компонентов [1]. Это первый шаг на пути освоения технологии поверхностного монтажа (SMT). Оборудование позволяет при минимальных инвестициях повысить качество выпускаемой продукции и снизить потребности в высококвалифицированных монтажниках.

Полуавтоматические системы установки принципиально отличаются от автоматов — у них отсутствует привод установочной головки и перемещение осуществляет оператор. Автоматизация процесса заключается в запоминании управляющим устройством координат установки каждого компонента и в блокировке перемещения манипулятора в заданных точках. Такой принцип установки удобен в мелкосерийном производстве и в лабораторных ус-

ловиях. Производительность установки компонентов достигает 700 шт./ч [2].

Установщик SMP-330 фирмы «Термопро» (рис. 1) предназначен для оснащения рабочего места монтажника SMD-компонентов в мелкосерийном производстве и обеспечивает проведение ручных операций по нанесению паяльной пасты или адгезива методом дозирования и установке SMD-компонентов посредством переноса из питателей с помощью вакуумного пинцета. Установщик может быть оснащен различными типами питателей для подачи компонентов из лент различной ширины или россыпи.

При монтаже компонентов с шагом выводов до 0,5 мм манипулятор обеспечивает точное дозирование мелкозернистых паяльных паст типов 5, 6 через насадки диаметром 0,15–0,2 мм с высокой повторяемостью. При монтаже компонентов с шагом выводов более 0,5 мм дозирование мелкозернистых паяльных паст типов 3, 4 происходит через насадки диаметром от 0,25 мм [3].

Ручной манипулятор для установки компонентов на печатную плату XMP-300 американской фирмы Vokar (рис. 2) быстро и надежно устанавливает поверхностно монтируемые компоненты с ленточных питателей и лотков для россыпи. Захват, удержание, ориентация компонента в пространстве и установка

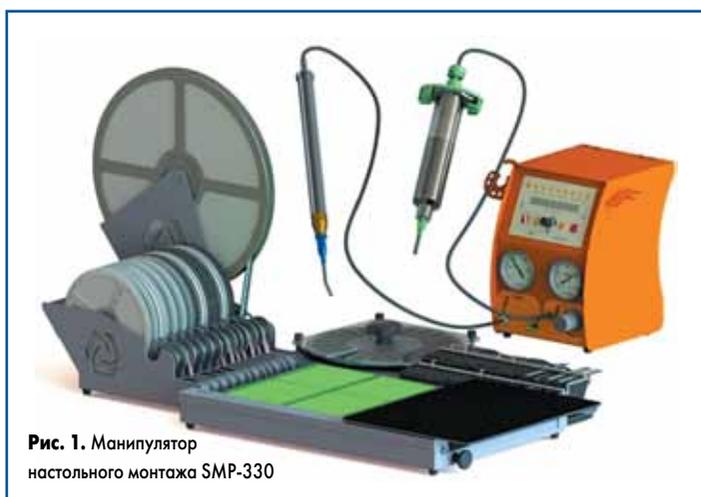


Рис. 1. Манипулятор настольного монтажа SMP-330



Рис. 2. Внешний вид манипулятора XMP-300



Рис. 3. Манипулятор поверхностного монтажа ЭМ-4725

на плату осуществляется с помощью вакуумного захвата. Встроенная система автоматического управления вакуумом обеспечивает его включение при захвате и выключение при установке, что существенно повышает производительность манипулятора.

В зависимости от применяемых опций базовая система ХМР может иметь ленточные питатели, пневматический или цифровой дозатор паяльной пасты/клея. Возможна установка видеосистемы для вывода изображения компонентов на монитор [4].

Манипулятор ЭМ-4725 производства ОАО «Планар-СО» (Беларусь) (рис. 3) предназначен для монтажа на поверхность печатных плат SMD-конденсаторов и резисторов, транзисторов в корпусах типа SOT, интегральных микросхем и других элементов, а также для нанесения припойной пасты или клея при помощи дозатора [5].

Манипулятор состоит из вакуумного пинцета, привода Y вакуумного пинцета, дозатора, панели управления, подлокотника и монитора. Устройство осуществляет монтаж SMD-элементов на печатную плату в такой последовательности:

- а) нанесение клея либо паяльной пасты на поверхность платы при помощи дозатора;
- б) присоединение SMD-элементов на поверхность платы вакуумным пинцетом.

В заводской комплектации манипулятора ЭМ-4425 предусмотрены блок управления, головка монтажа, оптический датчик, видеокамера, монитор, компрессор, педаль и переключатель. Манипулятор может быть оснащен ленточными, кассетными или карусельными питателями. С помощью вращающихся бобин (рис. 4а) ленточные питатели обеспечивают подачу компонентов, упакованных в блистер-ленты.

Кассетные двухъярусные питатели предназначены для хранения на рабочем месте SMD-компонентов в обрезках лент. При двухъярусной конфигурации достигается максимальная концентрация различных SMD-компонентов на одном рабочем месте (рис. 4б). Кассетные питатели для обрезков лент устанавливаются на платформу с помощью винтов. На каждой платформе может быть размещено несколько питателей.

Карусельный питатель предназначен для хранения мелких SMD-компонентов россыпью (рис. 4в). Карусель смонтирована на ша-

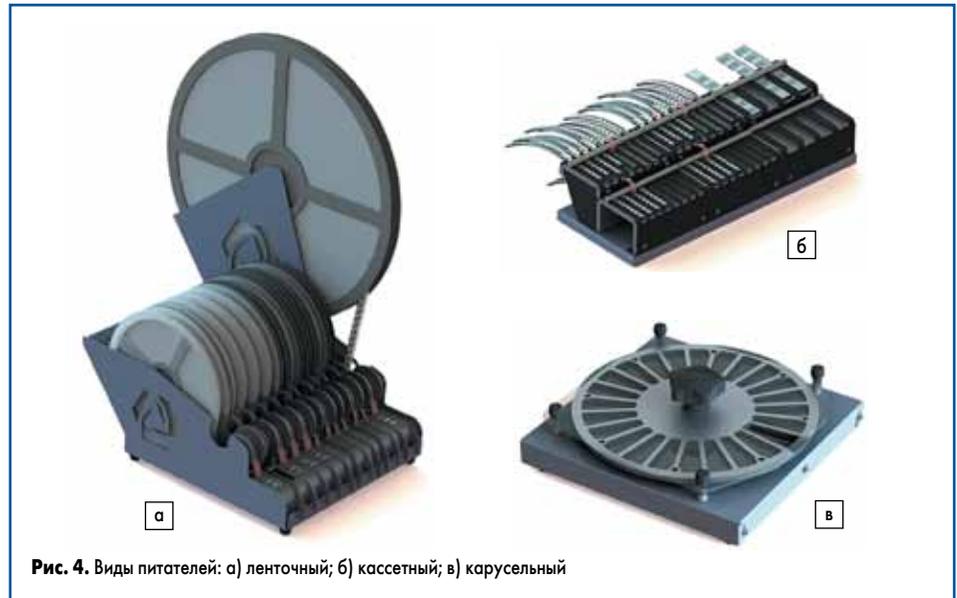


Рис. 4. Виды питателей: а) ленточный; б) кассетный; в) карусельный

Таблица 1. Технические характеристики манипуляторов

Модель	XMP-300 (США)	SMP-330 (Россия)	ЭМ-4725 (Беларусь)
Габариты, мм	670×730×310	580×345×700	740×600×300
Максимальные размеры платы, мм	450×340	500×275	250×350
Производительность, комп./ч	500	300–600	400–500
Максимальная потребляемая мощность, кВт	0,3	0,2	0,2
Шаг выводов, мм	0,5	0,4	0,4
Программируемый дозатор	+	+	–
Дополнительные опции	Питатели, цифровой дозатор	Дозатор, термофен, наборы питателей	Монитор, питатели, дозатор

рикоподшипнике и при помощи рукоятки вращается в любом направлении. В стекле предусмотрена прорезь, через которую оператор имеет доступ к одной из ячеек с SMD.

В таблице 1 приведены технические характеристики манипуляторов для поверхностного монтажа в мелкосерийном производстве.

Для повышения производительности манипулятор дополнительно оснащен дозатором для диспенсорного нанесения пасты и ленточными питателями для подачи SMD-компонентов. На рис. 5 приведена структурная схема модернизированного манипулятора.

Компрессор предназначен для подачи воздуха под давлением к дозатору или создания разряжения в головке монтажа, в зависимости от положения переключателя. Оптический датчик и камера служат для получения изображения и его передачи на видеомонитор. Дозатор осуществляет нанесение паяльной пасты, клея, флюса и других материалов низкой вязкости методом дозирования на печатную плату. Головка монтажа предназначена для захвата SMD-компонентов и их установки на печатную плату. Педаль служит для подачи сжатого воздуха в дозатор. Рабочее место

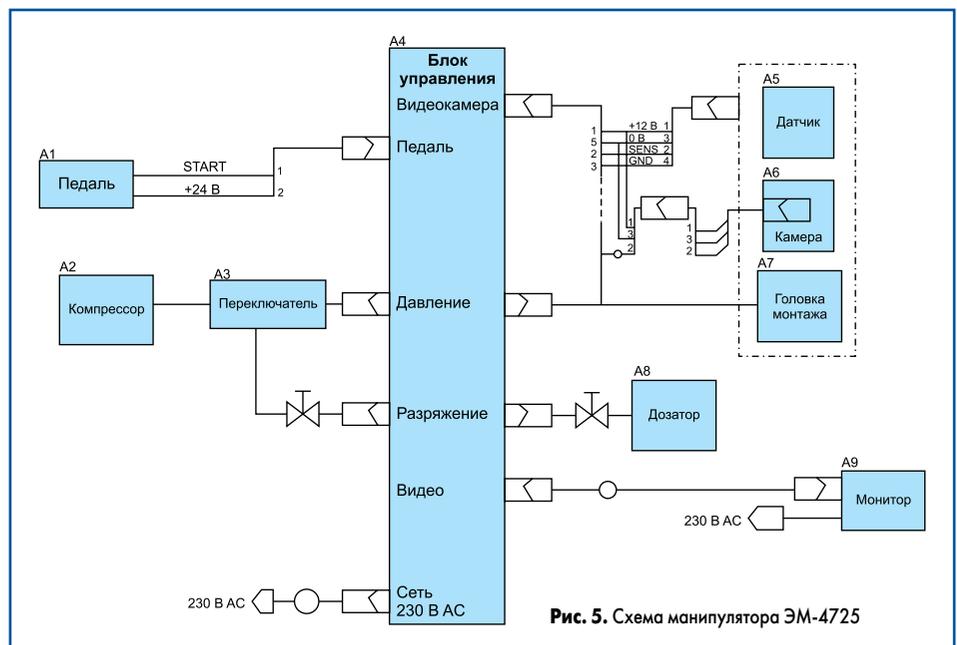


Рис. 5. Схема манипулятора ЭМ-4725



Рис. 6. Рабочее место установки SMD-компонентов

монтажа SMD-компонентов на данном манипуляторе показано на рис. 6.

Для расчета расхода паяльной пасты находим скорость ее истечения из дозатора. На поршень с площадью  $S_0$  действует внешняя сила  $F$ , и паста плотностью  $\rho$  вытекает из отверстия площадью  $S$  (рис. 7). Обозначив скорость движения пасты внутри дозатора через  $v_0$  и согласно уравнению Бернулли, имеем:

$$F/S_0 + 1/2 \times \rho v_0^2 = 1/2 \times \rho v^2. \quad (1)$$

Предположим, что скорости движения пасты во всех точках сечения одинаковые, тогда ее масса  $m$ , протекающая за время  $t$ , равна:

$$m = \rho v S. \quad (2)$$

В стационарном потоке масса  $m$  одна и та же для любого поперечного сечения дозатора, поэтому:

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2. \quad (3)$$

Если пасту рассматривать как несжимаемую, то  $\rho_1 = \rho_2$  и условие (3) принимает вид:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2. \quad (4)$$

С учетом выражения (4) получаем:

$$v S = v_0 S_0. \quad (5)$$

Выражая из формулы (5)  $v_0$  и подставляя в формулу (1), получаем:

$$F/S_0 = 1/2 \rho v^2 [1 - (S/S_0)^2]. \quad (6)$$

Обычно площадь отверстия иглы во много раз меньше площади поршня шприца, то есть  $S \ll S_0$ . Тогда, пренебрегая квадратом отношения  $S/S_0$ , находим силу, необходимую для выдавливания пасты:

$$F = 1/2 \rho v^2 S_0. \quad (7)$$

Скорость вытекания паяльной пасты при этом равна:

$$v = \sqrt{2F/\rho S_0} = \sqrt{2SP/\rho S_0}. \quad (8)$$

где  $P$  — давление.

Масса выдавленной пасты за промежуток времени  $t = 1$  с рассчитывается как:

$$m = S_0 v / \rho. \quad (9)$$

Подставив значение  $v$  из формулы (8), получим:

$$m = (S_0/\rho) \sqrt{2SP/\rho S_0} = \sqrt{2SS_0 P/\rho}. \quad (10)$$

При этом плотность паяльной пасты будет равна:

$$\rho = M \times \rho_{pp} / 100\%, \quad (11)$$

где  $M$  — процент содержания металла в паяльной пасте,  $\rho_{pp}$  — плотность припоя в паяльной пасте.

С учетом данных дозатора и пасты Sn62RM92A для  $S_0 = 6,15 \times 10^{-3} \text{ см}^2$ ,  $S = 1,02 \text{ см}^2$

и  $\rho = 7,65 \text{ г/см}^3$  построена зависимость массы дозированной пасты от давления (рис. 8).

### Методика оценки точности позиционирования

Ввиду малых размеров SMD-компонентов, к оборудованию технологии поверхностного монтажа предъявляются высокие требования по точности. В частности, лучшие представители автоматов-установщиков позволяют обеспечить точность установки порядка 10–15 мкм. Базовое значение допуска на центрирование и сдвиг корпусов составляет 25 мкм.

Требуемую точность позиционирования можно рассчитать исходя из геометрических размеров контактных площадок, выводов компонентов и возможных их отклонений. В рассматриваемой схеме (рис. 9) учитывается позиционирование припойной пасты относительно контактной площадки. На схеме площадка припойной пасты смещена влево, а вывод — вправо. При расположении их по центру контактной площадки эти погрешности будут равны 0, то есть  $\Delta x = h = 0$  [6].

Для оценки точности позиционирования можно использовать три критерия:

1. Минимальное расстояние между отпечатком пасты и соседней контактной площадкой по прочности изоляции:

$$\Delta x_1 = P - 1/2((W_B + \delta_k) - (W + \delta_{nn})) - l, \quad (12)$$

где  $\delta_k$  — допуск на размер SMD;  $\delta_{nn}$  — точность изготовления платы.

2. Минимальная ширина зоны перекрытия:

$$\Delta x_2 = 1/2((W_B + \delta_k) + (W + \delta_{nn})) - g. \quad (13)$$

Минимальное значение ширины перекрытия  $\Delta x_{2min} = 0,5p$ .

3. Минимальное расстояние с учетом позиционирования припойной пасты:

$$\Delta x_3 = p - 1/2((W_B + \delta_k) + (W + \delta_{nn})) - l - h, \quad (14)$$

где  $h \leq 0,05 \text{ мм}$ .

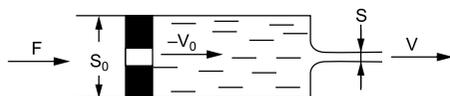


Рис. 7. Схема дозирования паяльной пасты

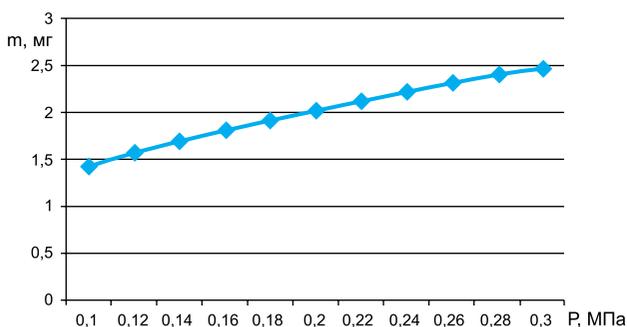


Рис. 8. Зависимость массы дозированной пасты от давления

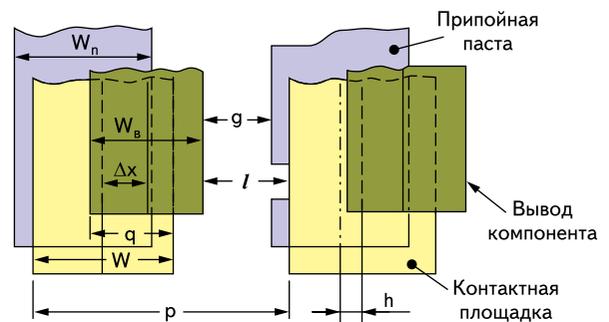
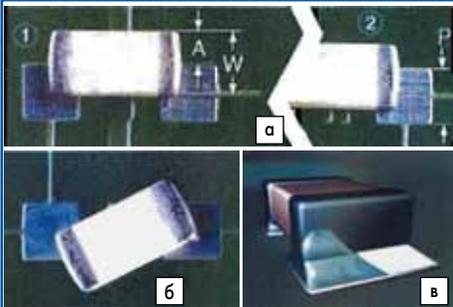


Рис. 9. Схема для расчета точности позиционирования:

- $p$  — шаг выводов;  $W$  — ширина контактной площадки;  $W_B$  — ширина вывода;
- $l$  — гарантированный зазор исходя из требований изоляционной прочности;
- $q$  — ширина перекрытия выводом контактной площадки;
- $\Delta x$  — погрешность позиционирования (в направлении  $X$ );
- $W_n$  — ширина площадки, занимаемой припойной пастой;
- $g$  — расстояние от вывода до следующей площадки припойной пасты;
- $h$  — погрешность позиционирования припойной пасты

**Таблица 2.** Составляющие точности позиционирования, мкм

Шаг выводов, p	650	500	400	300
Машинная точность	120	90	60	25
Точность компонентов	70	50	40	25
Точность платы	50	40	30	25
Точность нанесения пасты	70	60	50	25
Суммарная точность $\Delta x_i$	162	125	100	50



**Рис. 10.** Виды дефектов при установке компонентов:  
 а) величина бокового смещения А более 50% ширины контактной поверхности компонента W или 50% ширины контактной площадки P;  
 б) торцевое смещение;  
 в) ширина галтели припоя составляет менее 50%



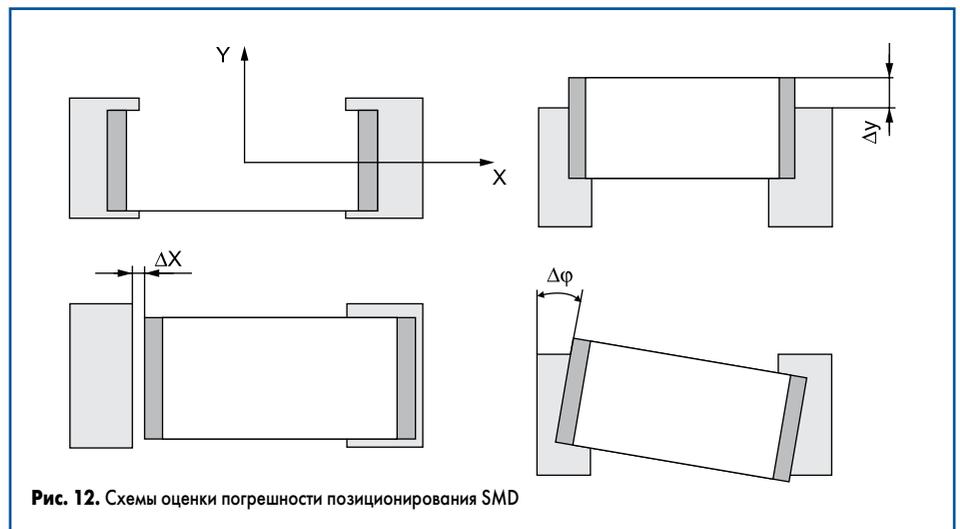
**Рис. 11.** Большой инструментальный микроскоп БИМ-1

Применение многовыводных ИС требует проектирования печатных плат с узкими коммутационными дорожками и контактными площадками. При этом могут возникнуть проблемы, связанные с обеспечением необходимого диэлектрического зазора и образованием перемычек припоя между соседними контактными площадками и выводами. В таблице 2 приведены составляющие точности и суммарной точности позиционирования компонентов в зависимости от шага выводов.

В соответствии с международным стандартом IPC-A-610D установлены визуальные критерии качества электронных сборок, а также регламентированы требования приемки для производства электротехнических и электронных сборок [7]. Требования, предъявляемые к установочным размерам и расположению SMD-компонентов на печатную плату, приведены в таблице 3.

**Таблица 3.** Требования к установочным размерам SMD-компонентов при расположении контактных поверхностей с одной, трех или пяти сторон

Характеристика	Габарит	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Максимальное боковое смещение	A	50% (W) или 50% (P); выбирается наименьшее значение		25% (W) или 25% (P); выбирается наименьшее значение
Торцевое смещение	B	Не допускается		
Минимальная ширина галтели припоя с торца (измеряется от самой узкой стороны галтели припоя)	C	50% (W) или 50% (P); выбирается наименьшее значение		75% (W) или 75% (P); выбирается наименьшее значение
Минимальная длина галтели припоя	D	Галтель припоя должна быть хорошо видна		
Максимальная высота галтели припоя	E	Галтель может выступать за пределы контактной площадки, касание корпуса компонента припоем не допускается		
Минимальная высота галтели припоя	F	Галтель четко просматривается на вертикальных поверхностях выводов компонентов		(G) + 25% (H) или (G) + 0,5 мм; выбирается наименьшее значение
Толщина припоя	G	Должна быть хорошо видна галтель припоя		
Высота вывода компонента	H	Значение параметра определяется конструкцией компонента		
Ширина контактной площадки	P			
Ширина контактной поверхности компонента	W			



**Рис. 12.** Схемы оценки погрешности позиционирования SMD

Несоблюдение указанных требований приводит к образованию различных дефектов монтажа. На рис. 10 приведены примеры возможных дефектов при монтаже SMD-компонентов.

Для исследования точности позиционирования и контроля качества установки элементов SMD на печатной плате применен большой инструментальный микроскоп БИМ-1 (рис. 11). При контроле погрешности установки элементов измеряют величины их смещения по осям X, Y ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ), как показано на рис. 12. Результаты оценки точности позиционирования вакуумным пинцетом и манипулятором приведены в таблицах 4 и 5.

С помощью полученных данных построены графические зависимости точности позиционирования от размеров SMD-элементов

(рис. 13), массы пасты (рис. 14) и от количества выводов компонента (рис. 15).

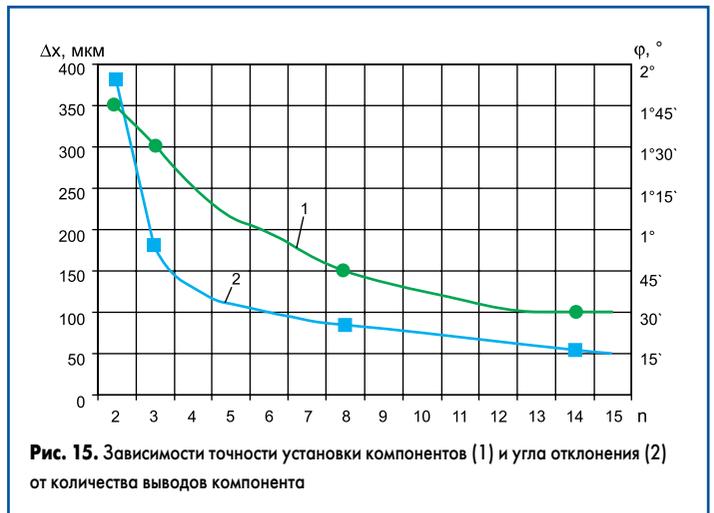
Анализ данных показывает, что установка SMD вакуумным пинцетом имеет значительную погрешность (200–500 мкм). Применение манипулятора ЭМ-4725 позволяет эту погрешность уменьшить до 2 раз за счет более точного перемещения по координатам X, Y. Для снижения погрешности необходимо использовать оптимальное количество паяльной пасты на контактной площадке, так как если пасты недостаточно или слишком много, растет погрешность позиционирования. С увеличением количества выводов, а значит, и сложности компонента точность позиционирования SMD повышается, что улучшает качество сборки электронных модулей.

**Таблица 4.** Результаты контроля позиционирования SMD-компонентов

Обозначение элемента	Манипулятор			Вакуумный пинцет		
	$\Delta x$ , мкм	$\Delta y$ , мкм	$\Delta \phi$ , град	$\Delta x$ , мкм	$\Delta y$ , мкм	$\Delta \phi$ , град
C1	300	200	0°30'	400	300	1°35'
C2	250	200	0°53'	300	250	1°58'
C3	100	400	1°35'	200	300	1°10'
R1	150	100	0°35'	150	300	0°50'
R2	200	100	1°15'	500	400	1°15'
R3	150	200	0°46'	300	200	0°40'

**Таблица 5.** Результаты контроля позиционирования многовыводных элементов на манипуляторе ЭМ-4725

Обозначение элемента	$\Delta x$ , мкм	$\Delta y$ , мкм	$\Delta \phi$ , град
VT1	100	100	0°27'
VT 2	150	150	0°45'
VT 3	150	100	0°36'
DD1	150	75	0°6'
DD 2	100	100	0°15'
DD 3	100	100	0°9'



ного монтажа электронных модулей манипулятора ЭМ-4725 предпочтительно благодаря малому значению минимального шага выводов, соотношению цена/качество и возможности оснастить его различными дополнительными опциями.

**Литература**

1. Lea C. A Scientific Guide to Surface Mount Technology. Buckingham, Electrochemical Publ., 1988.
2. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных устройств. М.: Техносфера, 2007.
3. SMP-330. [www.termopro.ru](http://www.termopro.ru)
4. XMP-300. [www.bokar.com](http://www.bokar.com)
5. Ланин В., Петухов И., Царюк А. Сборка электронных модулей с поверхностным монтажом в мелкосерийном и опытном производстве // Технологии в электронной промышленности. 2011. № 3.
6. Prasad R.P. Surface Mount Technology. Principles and Practice. Norwell, Kluwer Academic Publ. 1997.
7. IPC-A-610D. Критерии качества электронных сборок. [www.ipc.org](http://www.ipc.org)

**Заключение**

Применение простых и недорогих манипуляторов для поверхностного монтажа электронных модулей в опытном и мелкосерийном производстве может обеспечить приемлемую точность позиционирования при сборке и в несколько раз повысить производительность по сравнению с вакуум-пинцетом. Использование для поверхност-



**Testing & Control**  
27–29.10.2015  
МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО

12-я Международная выставка испытательного и контрольно-измерительного оборудования

**Testing & Control**



[www.testing-control.ru](http://www.testing-control.ru)

Организатор:



ITE Москва  
+7 (495) 935 7350  
control@ite-expo.ru

Реклама

# РАЗРАБОТКИ 2015 ГОДА



В 2015 году компания Schmoll Maschinen GmbH - мировой лидер в производстве сверлильно-фрезерного оборудования - представила универсальную установку прямого экспонирования MDI, предназначенную для экспонирования внешних, внутренних слоев и маски, а также установку COMBI DRILL - гибридный станок, оснащенный двумя источниками лазерного излучения, для оптимального сверления глухих отверстий, резки материалов и структурирования.

## ГИБРИДНЫЙ ЛАЗЕР COMBI DRILL

- 2 длины волны 355 нм и 9400 нм
- Гибкость и универсальность
- Стабильность процесса
- 100% остановка на внутреннем слое
- Высокое качество
- Широкая область применения
- Высокая производительность



## ПРЯМОЕ ЭКСПОНИРОВАНИЕ MDI

- УФ LED 375 нм + 388 нм
- Эффективная мощность до 2 Вт
- Автоматическая калибровка головок по УФ камере
- Точность  $\pm 5 \mu\text{m}$
- Совмещение по отверстиям и внешним меткам
- Высокая производительность
- Внешние/внутренние слои и маска

Эксклюзивный представитель в России - ООО "ПЕТРОКОММЕРЦ"  
Информационная, технологическая и сервисная поддержка заказчиков

8 800 250 52 85 | [www.petrocom.ru](http://www.petrocom.ru) | [info@petrocom.ru](mailto:info@petrocom.ru)



# Фокусная инфракрасная пайка — ремонт BGA-микросхем с превосходным качеством

**Ремонт BGA-микросхем можно отнести к одной из самых сложных и ответственных процедур при производстве изделий радиоэлектроники. Требования к качеству выпускаемой продукции растут с каждым годом, а высокая сложность изделий предполагает внедрение передовых технологий производства. Под понятием «ремонт микросхем BGA» понимается процесс демонтажа неработающего элемента и установка взамен него нового элемента. Для демонтажа и монтажа элементов применяется пайка, которая является основополагающим процессом. Пайка при ремонте BGA-микросхем — трудоемкий и ответственный процесс, требующий особого внимания.**

Антон Кантер

anton@avanteh.ru

К особенностям корпуса BGA следует отнести расположение его шариковых выводов непосредственно под корпусом микросхемы. Визуально проконтролировать процесс пайки невозможно, так как выводы закрыты самим корпусом. Особенностью микросхем BGA является и то, что выводы у них негибкие и, например, при тепловом расширении или вибрации некоторые выводы могут повредиться. Эти особенности накладывают очень жесткие требования к ремонту и пайке BGA-микросхем. В статье будут рассмотрены все основные способы и технологии пайки BGA-микросхем при ремонте и сформулированы необходимые условия для качественной пайки.

## Пайка BGA

Для качественной пайки BGA необходимо строго выполнение температурных показателей в разных точках изделия. На рис. 1 изображены типовые

температуры пайки BGA-микросхем. Между всеми указанными температурами есть взаимосвязь, и задача оператора состоит в том, чтобы добиться их максимального соответствия. Точка А — температура корпуса компонента, точка В — температура поверхности платы, точка С — температура верха шарика BGA, точка D — температура низа шарика BGA. Регулируя температуру в точках А и В, оператор может влиять на температуру в других точках. Изменяя температуру в точке А, оператор меняет ее и в точке температуры С. Изменяя температуру в точке В, оператор изменяет ее и в точке D. Только при одновременном выполнении всех температурных параметров возможна качественная пайка BGA. Факторы, определяющие качественную пайку BGA:

- Качество применяемой элементной базы и расходных материалов, контроль за наличием загрязнений и паяемостью элементов.
- Применение технологичного оборудования, способного упростить и автоматизировать процесс нанесения материала, установки и пайки компонента.
- Соблюдение и контроль технологических параметров во время пайки (контроль температуры).

## Сравнение технологий пайки BGA

Технологии пайки BGA можно условно разделить на три группы:

- Пайка горячим воздухом.
- Инфракрасная пайка средневолновым излучением.
- Инфракрасная пайка коротковолновым излучением.

### Технология пайки горячим воздухом

Принцип работы систем пайки горячим воздухом основан на переносе тепловой энергии нагретым воздухом. Для нагрева воздух пропускается через специальный нагревательный элемент с помощью вентиляторов. Нагретый воздух позволяет расплавить припой и произвести пайку. Оборудование для

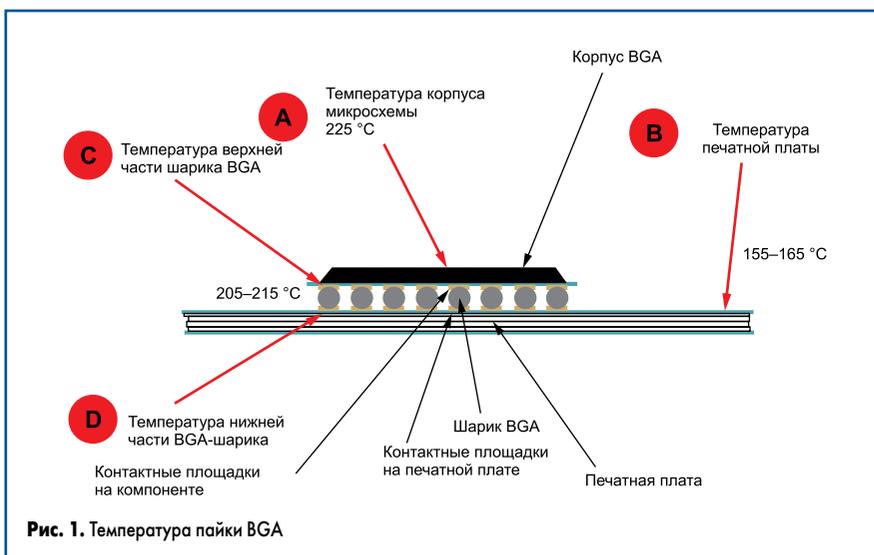


Рис. 1. Температура пайки BGA

пайки горячим воздухом можно условно разделить на два подтипа:

- Ручные термофены с насадкой-жалом для точечного нагрева.
- Ремонтные центры со специальными насадками, позволяющие одновременно нагревать все выводы паяемой микросхемы по заданному термопрофилю. Как правило, подобные системы предусматривают нижний подогрев, позволяющий нагреть саму печатную плату, модуль установки BGA-микросхем со сплит-линзой и специализированное ПО для управления процессом пайки. Паяльные насадки специально выбираются под тип паяемой микросхемы. Преимущества систем пайки горячим воздухом:

- Низкая стоимость оборудования для точечной пайки (ручные термофены).
- Высокая скорость нагрева.
- Возможность работы с любыми SMD-компонентами.

Недостатки систем пайки горячим воздухом:

- Необходима высокая квалификация персонала при точечной пайке (ручные термофены).
- Термоудар компонента или печатной платы (процесс нагрева компонента ручным термофеном не контролируется).
- Необходимость приобретения специальных насадок под каждый тип микросхем.
- Поток воздуха может сдувать или сдвигать компоненты при пайке.
- Возможно задевание паяльной насадкой соседних элементов.
- Контроль температуры воздуха осуществляется лишь на выходе с насадки, а не на самом корпусе микросхемы.

### ИК-пайка средневолновым излучением

В основе данной технологии лежит бесконтактная ИК-пайка с помощью ИК-нагревателя, излучающего тепловую энергию. Тепловая энергия, излучаемая ИК-нагревателем, позволяет нагреть корпус микросхемы до заданной температуры. Температура нагревателя контролируется с помощью программного обеспечения и позволяет производить пайку по термопрофилю.

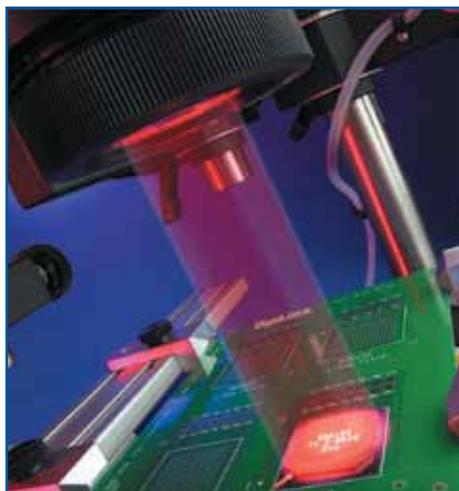


Рис. 2. Фокусная ИК-пайка

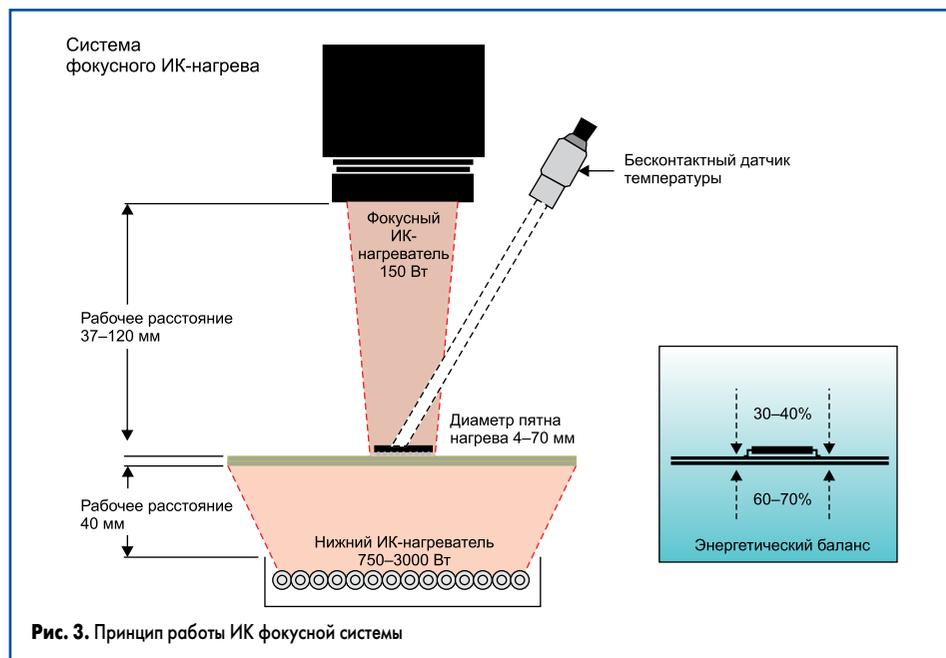


Рис. 3. Принцип работы ИК фокусной системы

Средневолновое ИК-излучение равномерно распространяется вокруг нагревателя. При пайке оператор должен ограничить зону излучения ИК, установив специальные экраны. Ремонтные центры имеют возможность нагревать саму печатную плату с помощью нижнего нагревателя и обладают системами технического зрения для снятия и установки микросхем.

Преимущества систем ИК-пайки средневолновым излучением:

- Возможность пайки любых компонентов SMD.
- Отсутствие необходимости использования паяльных насадок.
- Недостатки систем ИК-пайки средневолновым излучением:
- ИК-нагреватель обладает большой тепловой инерционностью как при нагреве, так и при охлаждении.
- Сложность настройки и контроля термопрофиля, проблемы с повторяемостью процесса пайки.
- Необходимость использовать защитные экраны на нагревателе и защищать соседние компоненты от перегрева.

### ИК фокусная пайка коротковолновым излучением

В отличие от систем с средневолновым ИК-нагревателем нагрев в системах ИК фокусной пайки происходит только на заданной площади, что исключает перегрев соседних элементов.

Технология ИК фокусной пайки основана на использовании коротковолнового видимого ИК-излучения, сфокусированного на определенной площади. Излучение формируется с помощью специальной лампы и, проходя через систему линз, фокусируется на поверхности печатной платы. В отличие от средневолнового излучения ИК-излучение, используемое при фокусной пайке, можно увидеть человеческим глазом. В зоне его действия оператор будет видеть красный круг (рис. 2). Изменяемый размер области нагрева позволяет точно настроить область пайки и избежать

нагрева соседних компонентов. Фокусную пайку можно контролировать и оперативно изменять ее параметры для точного соблюдения температурного режима. Низкая температурная инерционность нагрева позволяет мгновенно реагировать на любые изменения параметров температуры.

Для получения максимального качества пайки системы дополнительно оснащаются нижним средневолновым подогревателем, позволяющим прогреть изделие целиком до необходимой температуры. Верхний, фокусный нагрев помогает достичь точной температуры на корпусе компонента. Система беспроводных датчиков контролирует температуру корпуса микросхемы и поверхности изделия и осуществляет абсолютное выполнение параметров термопрофиля (рис. 3).

Преимущества ИК фокусной пайки:

- Высокая скорость реакции ИК-нагревателя, возможность точной настройки и контроля термопрофиля.
- ИК-излучение можно увидеть человеческим глазом и настроить пятно нагрева под необходимые размеры компонента, нет необходимости защиты соседних элементов.
- Деликатный нагрев, не способный повредить корпуса микросхем.
- Постоянный контроль температуры.
- Отсутствие риска смещения компонентов струей горячего газа.
- Нет необходимости в использовании защитных экранов и паяльных насадок.
- Недостаток системы фокусной пайки:
- Необходимо использовать специальный защитный скотч для компонентов с блестящими поверхностями корпусов.

### Компания PDR — первооткрыватель в технологии ИК-пайки

Технология ИК фокусной пайки была впервые разработана и реализована английской компанией PDR в 1986 году. На сегодня во всем мире установлено около 4000 ремонтных центров. Оборудование используется та-



**Рис. 4.** ИК фокусная пайка на ремонтных центрах PDR



**Рис. 5.** ИК ремонтный центр PDR-E3Vi Gold

кими всемирно известными компаниями, как BOEING, NOKIA, PANASONIC, LG, SAMSUNG, IBM, DELL, SIEMENS, BOSCH, агентствами NASA, EADS, BAE, JPL. Ведущие производители электроники нашей страны также успешно эксплуатируют системы компании PDR. В настоящее время ремонтные центры компании PDR занимают лидирующие места по всему миру и предлагают своим пользователям решать задачи любой сложности (рис. 4).

Широкий модельный ряд ремонтных центров PDR позволяет решать задачи любой сложности.

Модели начального уровня серий С3 и D3 комплектуются ИК фокусной пушкой и ниж-

ним подогревом печатных плат. Параметры нагрева вводятся оператором через контроллер, который позволяет создавать термопрофили.

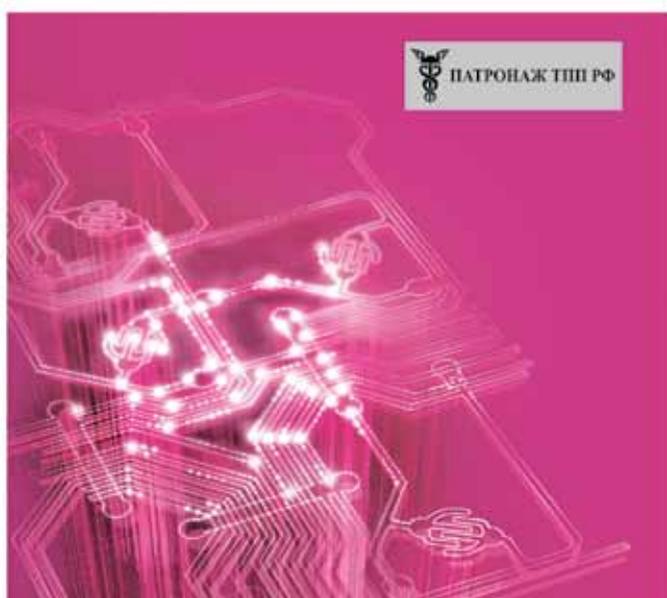
В более продвинутые ремонтные центры серий E3 и E6, помимо ИК фокусной пушки и нижнего подогревателя печатных плат, устанавливается система технического зрения для точной установки компонентов. Ввод и контроль параметров цикла пайки реализуется с помощью ПО в полностью автоматическом режиме (рис. 5).

В данной статье были рассмотрены основные типы технологий для ремонта BGA-микросхем, их преимущества и недостатки. В зависимости от сферы применения заказ-

чики могут использовать различные технологии для осуществления ремонта изделий. У каждой технологии есть свои преимущества и недостатки, которые влияют и на ограничения по применению данных технологий, и в конечном итоге на результат пайки.

Для контрактных производств электроники технология ИК-пайки является наиболее предпочтительной, так как позволяет добиться идеальных температурных режимов пайки на изделиях любой сложности, быстрой отладки и построения термопрофиля при смене типа продукции. Кроме того, нет необходимости приобретать дополнительные паяльные насадки и защитные экраны.

В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ФОРУМА «РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. АВТОМАТИЗАЦИЯ»



**Radel** **РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**  
XV МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

- Электронные компоненты
- Комплектующие
- Печатные платы
- Светотехника
- Материалы
- Конструктивы
- Технологии
- Промышленное оборудование и инструменты
- Контрольно-измерительные приборы и лабораторное оборудование

**21-23 октября 2015**  
Санкт-Петербург, СКК

Организатор выставки

FarEXPO IFE radel@farexpo.ru, www.farexpo.ru/radel тел.: +7 (812) 777-04-07, 718-35-37  
Место проведения: Санкт-Петербург, СКК, пр. Ю. Гагарина, 8, м. «Парк Победы»

# Пайка с вакуумом или без него? Гибкое решение «2 в 1» для пайки оплавлением

**Энергоэффективность, простота в обслуживании, пайка без пустот — компания Rehm предлагает инновационные решения для пайки оплавлением с разнообразными опциями для установки VisionXP+. Новый вакуумный блок позволяет осуществлять конвекционную пайку с разрежением: все в одном процессе.**

Пауль Вильд

[o.bayer@rehm-group.com](mailto:o.bayer@rehm-group.com)

**Вакуум в производстве электроники**

После того как Галилео Галилей (1564–1641) задался вопросом о существовании абсолютной пустоты (лат. *vacuus*), это понятие впервые стали рассматривать не только в философском смысле, но и с физической/технической точки зрения. Сегодня, спустя 368 лет после первого получения искусственного вакуума итальянским физиком Торричелли, вакуумная технология является важнейшей и широко используемой составляющей производственных процессов. Особенно распространено применение низкого вакуума (от 300 до 1 мбар) для различных целей в производстве электроники. Важнейшими среди них являются сушка, покраска, газообмен и вакуумная пайка. В то время как влияние пустот на надежность мест пайки компонентов с незначительной токовой нагрузкой, например при передаче сигнала, уже много лет остается предметом жарких споров среди исследователей и пользователей, в производственной сфере, в частности в сфере сборки силовых электронных устройств и высоконадежной техники, растет потребность в решениях, позволяющих выполнять пайку без пор. Этого можно добиться за счет воздействия вакуумом на припой, расплавленный в процессе пайки.

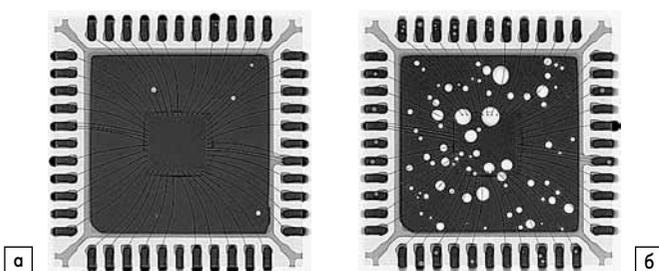
**Пайка оплавлением и вакуум — удачное, долговечное сочетание**

Применение вакуумных технологий при пайке электронных компонентов тесно связано с историей компании Rehm. Еще в 1999 году на рынке появилась первая система вакуумной пайки VAC400. Вскоре после этого в системе пайки Condenso технология конденсационной пайки (пайка в паровой фазе) была скомбинирована с соответствующей вакуумной техникой. Система вакуумной пайки Condenso предусматривает два варианта использования вакуума: в качестве предварительного и/или финального вакуума. Таким образом, наряду с исключительным распределением тепла система Condenso позволяет осуществлять сушку паст и получать места пайки без пустот.

Стремление к повышению производительности и улучшению интеграции линий поверхностного монтажа требовало новых технологических подходов. Благодаря комбинации конвекционной установки пайки оплавлением серии VisionXP+ с вакуумной камерой уже зарекомендовавшее себя как действенное для обеих технологий ноу-хау успешно воплотилось в новой версии установки данного типа.

**Универсальная вакуумная опция**

Серия VisionXP+ с вакуумной опцией надежно удаляет пустоты и газы сразу же после расплавления припоя (пока припой находится в оптимальном расплавленном состоянии). Благодаря значению вакуума от 100 до 10 мбар достигается пустотность менее 2% (рис. 1а). Для точной настройки параметров процесса в установке VisionXP+ Vac вакуум измеряется не на вакуумном насосе, а непосредственно в рабочей камере. Характер изменения давления и скорость можно регулировать в индивидуальном порядке и устанавливать как профильный параметр. Механическая конструкция установки позволяет использовать вакуум по необходимости или применять VisionXP+ в качестве классической конвекционной установки для пайки (рис. 1б).



**Рис. 1.** Снимок просвечивания рентгеновскими лучами места пайки QFN44 после пайки с помощью конвекционной установки VisionXP+ Vac: а) для пайки с вакуумом; б) для пайки без вакуума



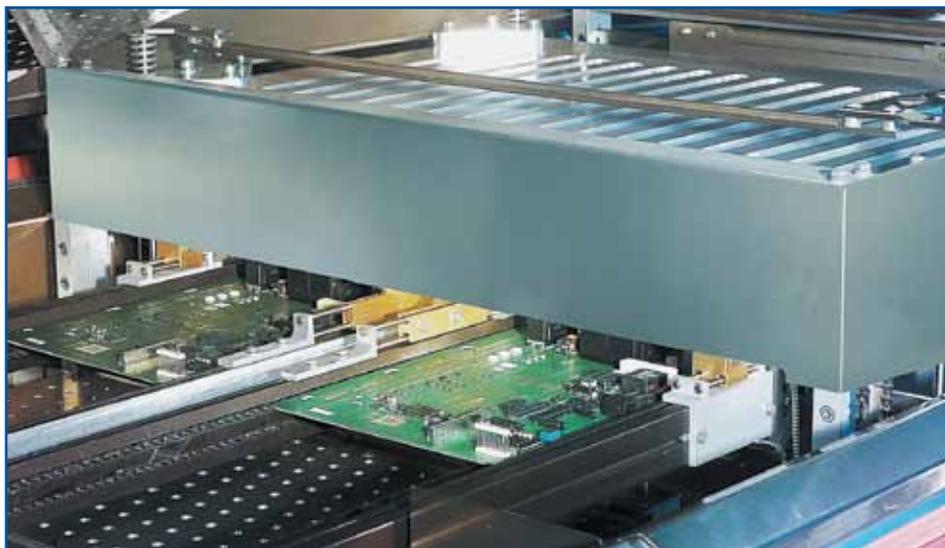
**Рис. 2.** Конвекционная установка типа VisionXP+ Vac с вакуумной камерой

### Низкие затраты на техническое обслуживание

В случае с установкой VisionXP+ Vac (рис. 2) вакуумная камера (рис. 3) устанавливается как дополнение к имеющейся линии. Встроенная система пиролиза и отдельная система фильтрации подаваемой в вакуумную камеру среды обеспечивают дополнительные преимущества при проведении технического обслуживания и очистки. Достаточно большой рабочий ход вакуумной камеры до установки в сервисное положение создает хороший доступ к находящимся внутри механизмам во время проведения работ по техническому обслуживанию. Автоматическая установка рабочей камеры в рабочее или сервисное положение сводит к минимуму время простоя и сокращает затраты на техническое обслуживание.

### Раздельная транспортировочная система с отдельными регулировками

Транспортировочная система установки VisionXP+ Vac разделена на три части: зона предварительного нагрева/пиковая зона, вакуумный блок и зона охлаждения. Все три зоны транспортировочной системы опционально могут оснащаться опорными элементами для поддержки средней части особо широких компонентов. Возможность снижения скорости транспортировки в зоне охлаждения при использовании вакуума позволяет увеличить время охлаждения компонентов и поддерживать оптимальную температуру для последующих производственных процессов. Расширение транспортировочной системы за счет монтажа второй ветки повышает производительность установки.



**Рис. 3.** Вакуумная камера установки VisionXP+ Vac

### Точное профилирование давления и температуры

Все зоны нагрева установки VisionXP+ Vac регулируются отдельно и термически отделены друг от друга, что позволяет обеспечить гибкость профилирования и стабильность процесса оплавления. Измерение температурного профиля с включенным вакуумным процессом (рис. 4) показывает, что, несмотря на очень низкий уровень достигаемого разрежения в 10 мбар, все заданные значения профиля выполняются ( $\leq 3$  K/c нагрев,  $t_f \leq 90$  с,  $T_p \leq 240$  °C). С помощью встроенного в камеру обогревателя можно отрегулировать температуру компонента в вакуумном блоке в соответствии

с наиболее распространенными нормами. Благодаря такому продуманному решению удастся организовать быстрый и стабильный производственный процесс.

### Конденсационная или конвекционная пайка: компания Rehtm предлагает оба метода с вакуумом и без него

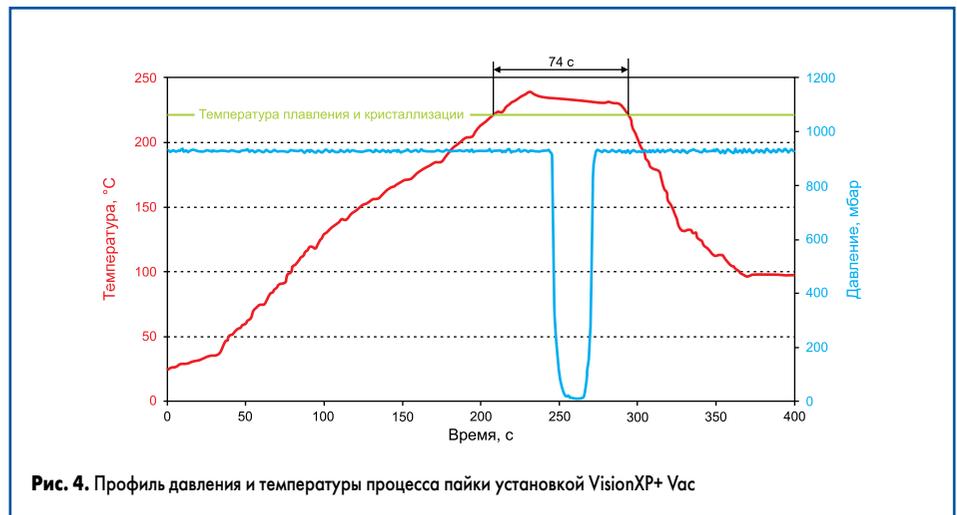
Для того чтобы подобрать подходящую комбинацию конденсационной или конвекционной пайки и вакуумной технологии, необходимо точно проанализировать поставленные задачи в каждом конкретном случае. Несмотря на то, что общим главным требованием

является снижение количества пустот в местах пайки, возможности и области применения методов пайки различаются. В таблице приводится сравнение некоторых существенных признаков обоих методов вакуумной пайки. При этом в качестве решающих факторов рассматриваются вид обрабатываемых компонентов, возможность использования вакуумного процесса и производительность.

Специфические параметры производственного процесса, компонентов, а также индивидуальные требования заказчика всегда играют определяющую роль при выборе оптимальной комбинации технологий пайки и вакуума. Технологический центр компании Rehm, расположенный в г. Блаубойрен, имеет возможность тестировать оба метода и определять оптимальный процесс для изготавливаемых компонентов. С момента выхода серии VisionXP+ Vac большое количество установок уже с успехом завоевало свое место на рынке. Значительное повышение надежности мест пайки при использовании вакуумного процесса и гибкость системы (при необходимости можно отключить вакуумный процесс) убедили клиентов компании в преимуществах этой технологии.

**О компании Rehm Thermal Systems**

Компания Rehm была основана в 1990 году. Основной идеей бизнеса стало создание небольших недорогих установок для пайки оплавлением с открываемой рабочей камерой. Следуя своему принципу "Einfach. Mehr. Ideen." («Просто. Больше. Идеи»), компания



**Рис. 4.** Профиль давления и температуры процесса пайки установкой VisionXP+ Vac

**Таблица.** Сравнение существенных признаков конвекционной и конденсационной установок с вакуумом

	Конденсационная пайка с вакуумом	Конвекционная пайка с вакуумом
Гибкость профилирования оплавления	хорошая	очень хорошая
Максимальная температура процесса, °C	240	300
Разница температур компонента (ΔT)	относительно незначительная	в зависимости от количества зон нагрева
Материал, подвергаемый пайке	одно- и двухсторонние компоненты с очень большим весом	одно- и двухсторонние компоненты
Среда процесса	Galden PFPE	воздух, азот
Вакуумный процесс	весь процесс пайки очень гибкий	только после процесса пайки
Производительность	средние партии изделий	большие партии изделий

Rehm является лидером в области технологий и инноваций для производства современных и эффективных электронных компонентов в сфере разработки термических системных решений для электронной промышленности. На сегодня компания Rehm Thermal Systems

имеет признанный международный авторитет и представлена на всех значимых растущих рынках, реализуя для своих клиентов образцовые производственные решения в сфере разработки и производства систем пайки и сушки.

**Уменьшение пустот при помощи вакуума**



THERMAL SYSTEMS



**VisionXP+ Vac**

Система селективного нанесения конформных покрытий включая вакуумный процесс



**CondensoX**

система пайки в паровой фазе

с вакуумным процессом



**Гибкое решение «2 в 1» для пайки оплавлением**

Вакуум после процесса пайки для уменьшения пустот  
Подготовлено для промышленности 4.0

**Возможная температура до 240°**

Достижение пустотности менее 2%  
Управляемый процесс вакуума

Дальнейшая информация [www.rehm-group.com](http://www.rehm-group.com) или по телефону +49 7344 9606510

# Обзор рынка паяльного оборудования для ручного монтажа

**В последние годы оборудование и инструменты для традиционного ручного монтажа имели предсказуемый вектор развития, обусловленный научно-техническими достижениями текущего десятилетия. Основными операторами на мировом рынке продолжали оставаться компании — изготовители оборудования из США, Германии, Японии, Тайваня и Китая. Безусловными лидерами в производстве качественного, надежного и эргономичного оборудования остаются компании PACE, OKI, Weller, Hakko.**

**Алексей Дмитриев**

Линейка инструментов компании PACE достаточно разнообразна и безукоризненно продумана с точки зрения удобства для пользователя. Это позволяет проводить качественный монтаж и микромонтаж на изделиях с высокой плотностью компонентов. Хорошо продуманы и реализованы инструменты, предназначенные для ремонта и демонтажа компонентов. Обеспечивает работу таких разнообразных опций большой модельный ряд очень эргономичных паяльных станций, от простых одноканальных до многофункциональных ремонтных центров. Стоимость оборудования компании PACE остается достаточно высокой, что в принципе соответствует качеству продукции (рис. 1).

Компания PACE бесспорно остается лидером в области создания многофункционального оборудования, обеспечивающего как монтаж, так и замену компонентов любой сложности. На сегодня поистине уникальными являются многофункциональные паяльные станции MBT и ремонтные центры PRC. Они позволяют использовать одновременно две системы термуправления. К станциям могут быть подключены как классические термоинструменты Sensa Temp, так

и динамические инструменты Intelli Heat, что значительно расширяет их возможности. Допускается одновременная работа двух или трех термоинструментов. Таким образом можно быстро заменить компоненты и не тратить время на подключение инструментов и перенастройку системы. Микропроцессорное управление предоставляет возможность осуществлять контроль и регулирование температуры на каждом канале. Работа вакуумных инструментов и инструментов для пайки горячим воздухом поддерживается с помощью малошумного компрессора. Комплекс PRC, по сути, является многофункциональной мини-лабораторией, и на одном рабочем месте возможно выполнение операций любой сложности по производству и ремонту электронной техники.

Еще один известный изготовитель паяльного оборудования — компания Weller. Ее высококачественный ручной инструмент и специализированное оборудование для промышленного, коммерческого и потребительского рынков давно пользуются заслуженным успехом у потребителей. Модельный ряд инструментов для ручного монтажа весьма разнообразен. Линейка паяльных станций, в том числе и многоканальных, представляет собой различные комбинации из двух-трех базовых одноканальных станций, но при этом паяльное оборудование отличается высокой надежностью и способно обеспечить все виды монтажных и демонтажных работ. Стоимость продукции компании Weller занимает среднюю ценовую нишу и оптимально соответствует соотношению цена/качество.

При использовании в ручном монтаже обычных паяльных станций для поддержания точно заданной температуры важную роль играет соблюдение периодичности и качество проведения калибровки паяльника. Обычно для этого используются измерители температуры наконечников паяльника, выполненные с помощью биметаллических пластин. Их использование в качестве чувствительного элемента измерителя обычно приводит к искажению истинной температуры наконечника, так как при касании жалом паяльника пластины часть тепловой энергии паяльника переда-



Рис. 1. Паяльная станция ST25 PACE



Рис. 2. Индукционная паяльная станция I153ESD



Рис. 3. Паяльная станция Магистр Ц20

ется ей и само жало паяльника немного остывает, что и приводит к неточности калибровки. Компания Weller нашла весьма оригинальное техническое решение данной проблемы. Разработанное ее специалистами устройство WTT 1 имеет температурный датчик, закрепленный на специальном нагревательном элементе. Перед измерением температуры жала паяльника устройство разогревается примерно до температуры паяльника, и при касании жалом датчика потери тепловой энергии ничтожны, что и повышает точность измерений.

Из азиатских предприятий, успешно действующих на мировом рынке, особое место занимают японские компании, среди которых выделяется компания Nakko, а также тайваньские компании HITRONIC и SOLOMON. Номенклатура выпускаемой ими продукции достаточно широка и отличается высокой надежностью.

Очень хорошо заявила о себе корейская компания Good Feel. В последние годы она достигла значительных успехов в производстве современного оборудования, одновременно обеспечивая решение вопросов качества и сервисного обслуживания и используя широкую сеть дилеров и дистрибьюторов. При разработке оборудования активно внедряются новейшие достижения научно-технического прогресса, такие как высокочастотный разо-

грев, применение эффекта «точки Кюри» в ферромагнетиках. В ближайшие годы компания претендует на одно из лидирующих мест азиатско-европейского рынка.

Как и прежде, китайские компании, в частности ATTEN, Quick Electronic, Lukey, успешно производят и поставляют на мировой рынок простые и недорогие инструменты, однако вопросы гарантии, надежности и сервисного обслуживания этих производителей оставляют желать лучшего.

Что касается технических решений, то специалисты отмечают рост спроса на индукционные паяльные станции, способные обеспечить очень высокую точность удержания температуры паяльного жала. Пионером в производстве индукционных паяльных станций для монтажных работ стала американская компания OKI, выпустившая станцию PS-800. Сегодня OKI продолжает совершенствовать линейку данных устройств и предлагает очередную новинку — PS-900, она имеет более широкий ряд сменяемых жал, что влияет на расширение диапазона температур самой станции. Наиболее привлекательным представителем индукционных станций по-прежнему остается паяльная станция I 153 ESD (рис. 2) корейской компании Good Feel: простота, надежность и малая стоимость делают ее популярной у потребителей.

Установка температуры нагрева паяльника выполняется с помощью сенсоров на лицевой панели паяльной станции — это удобнее и привычнее, нежели механическая замена жала у паяльника, даже с использованием термической салфетки (как у станций PS-800). Чтобы избавиться от этого недостатка при использовании ферромагнетиков, серьезный шаг сделала компания Weller. Ею реализован метод совмещения паяльного жала и нагревательного элемента в конструкции паяльника WMRP, что позволяет получить минимальное время разогрева и максимальную точность поддержания температуры. При этом температура задается органами управления, находящимися на панели паяльной станции, а не заменой одного жала на другое, соответствующее нужной температуре.

В последние годы получили развитие конвекционные системы для монтажа и демонтажа. Наиболее удобные из них — TF 550, предлагаемая компанией PACE, и WQB4000 SOPS от компании Weller. В обоих комплексах сочетаются все лучшие наработки и технические достижения последних лет.

Из отечественных производителей паяльного оборудования наиболее заметным является саратовское ООО «НТЦ Магистр-С». Линейка предлагаемых этим производителем инструментов и оборудования постоянно расширяется и совершенствуется. Заслуженной популярностью у наших предприятий радиоэлектроники и приборостроения пользуются как паяльные станции, термостолы, паяльные ванны, так и простые приспособления для термозачистки проводов. Специалисты этой компании проводят большую работу с целью улучшения надежности оборудования, его эргономики и соответствия современным требованиям. Развернувшаяся в нашей стране кампания импортозамещения предоставляет компании «Магистр» хороший шанс закрепиться на внутреннем рынке. Это вселяет надежду на развитие отечественных производителей, и дает уверенность в скором времени увидеть бренд «Магистр» в одном ряду с другими именитыми мировыми лидерами в области производства паяльного оборудования. Кстати, в нынешнем году готовит свой дебют в области создания паяльных станций и петербургская компания «Универсал Прибор» (рис. 3).

ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ  
опытное и серийное производство,  
проектирование, монтаж

КОНТРАКТНАЯ РАЗРАБОТКА  
И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ

**NTC**™  
**VecTech**

ООО «Вектор Технологии»  
119454, Санкт-Петербург  
Нутковский пр., д. 30  
www.vecotech.spb.ru  
E-mail: vecotech@yandex.ru  
8120 528-26 07

Реклама

# Состояние дефекта вида «голова на подушке»

## В технологии поверхностного монтажа

**В условиях перехода отрасли производства электроники на бессвинцовую пайку, а также с уменьшением профиля корпусов BGA-компонентов и шага их выводов растет процент появления дефектов отсутствия смачивания, известных под наименованием «голова на подушке» (head-and-pillow, HnP). Эти дефекты трудно обнаружить после завершения сборки по технологии поверхностного монтажа, и наиболее вероятно, что они проявятся уже у заказчика.**

**Дуди Амир (Dudi Amir)  
Райо Аспандиар (Raiyo Aspandiar)  
Скотт Баттарс (Scott Buttars)  
Вей Вей Чин (Wei Wei Chin)  
Парамжит Гилл (Paramjeet Gill)**

Существует ряд причин появления таких дефектов. Их можно разделить на составляющие, связанные с техпроцессом, материалами и конструкцией. В данной статье проводится исследование обстоятельств, обуславливающих появление дефектов «голова на подушке» после сборки по технологии поверхностного монтажа, и механизмов их образования.

Описаны важнейшие факторы, влияющие на появление дефектов этого типа. Будут рассмотрены возможности определения основной причины подобного изъяна и предложены решения, препятствующие его появлению и позволяющие в результате получить надежный техпроцесс поверхностного монтажа.

### Введение

Электронная отрасль движется в сторону производства, дружественного к окружающей среде, более миниатюрным и тонким корпусам и увеличению плотности монтажа на плате. Однако все эти тенденции вызывают рост проблем при сборке плат. В результате наблюдается увеличение числа дефектов отсутствия смачивания, именуемых «голова на подушке», а также известных и под многими другими названиями — «голова в подушке», «шарик в чашке», «шарик в углублении», «скрытая подушка». Все они относятся к одному и тому же явлению — паяному соединению, состоящему из двух металлургически различных масс, которые сформированы из шарика BGA-компонента и оплавленной паяльной пасты с незавершенным их слиянием или его отсутствием. На рис. 1 приведено типичное поперечное сечение дефекта типа «голова на подушке».

Как видно из рис. 1, шарик BGA-компонента «сидит» на затвердевшей пасте, но не образует неразрывного паяного соединения. Применяя стандартные методы испытаний, выявить данный дефект затруднительно, так как с приложением небольшого давления или при его отсутствии он может успешно пройти внутрисхемное тестирование и «отбыть» к заказчику. Поскольку наиболее вероятно, что этот

дефект проявится полным или перемежающимся отказом после некоторого времени работы изделия у заказчика, важно понять механизм образования дефекта и предотвратить его появление.

Цель данной статьи — выявить факторы, вызывающие дефект «голова на подушке», объяснить их появление и дать наилучшие из известных решений по их предотвращению. В статье причины появления дефекта разбиты на три части: проблемы техпроцесса, относящиеся к поверхностному монтажу и сборке платы, проблемы материалов, относящиеся к технологическим материалам, применяемым при сборке, — паяльным пастам, материалам корпуса, шарикам BGA-компонента, а также проблемы конструкции, имеющие отношение к плате и корпусу компонента.

Решить проблему дефектов «голова на подушке» нелегко, ведь на их возникновение влияет ряд разнообразных факторов. Авторы предприняли попытку выявить важнейшие причины, вызывающие появление дефектов вида «голова на подушке», чтобы помочь инженерам и техникам провести анализ основной причины его возникновения.

### Образование дефекта «голова на подушке»

На рис. 2 дано изображение того, как образуется дефект «голова на подушке». Сначала шарик BGA-компонента помещается на паяльную пасту, нанесенную на контактные площадки печатной платы методом трафаретной печати (рис. 2а). После того как BGA-компонент на печатной плате входит в печь пайки оплавлением и его температура увеличивается, флюс в составе паяльной пасты начинает активироваться и уменьшает окисление частиц припоя, а также той части шарика, с которой он соприкасается. На этом этапе контакт между шариком припоя и паяльной пастой может либо присутствовать, либо отсутствовать (рис. 2б).

Затем между шариком и паяльной пастой образуется зазор вследствие действия ряда факторов, таких как динамическое коробление корпуса и/или



**Рис. 1.** Дефект типа «голова на подушке»

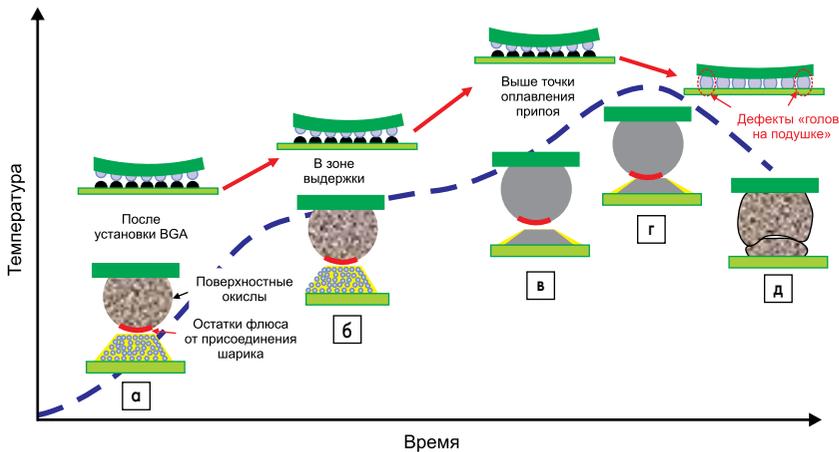


Рис. 2. Изображение механизма формирования дефекта типа «голова на подушке»:

- а) шарик BGA-компонента помещен на паяльную пасту;
- б) наличие или отсутствия контакта между шариком припоя и паяльной пастой;
- в) оплавление шарика припоя;
- г) недостаточная активность флюса или загрязнение, приводящие к отсутствию слияния шарика и пасты;
- д) возникновение дефектного паяного соединения «голова на подушке»

платы. Припой на площадках печатной платы оплавляется, и их поверхность покрывается флюсом. Шарик припоя также оплавляется, и его поверхность, обычно покрытая небольшим количеством флюса либо не покрытая им совсем, начинает окисляться при условии воздушной атмосферы в печи (рис. 2в). Когда корпус BGA-компонента осаживается, шарик снова входит в контакт с массой оплавленной паяльной пасты. В это время, если шарик припоя и масса оплавленной паяльной пасты сливаются вместе, формируется хорошее паяное соединение. Однако в случае активности флюса, недостаточной для удаления оксидного покрытия с поверхности шарика, или при наличии какого-либо загрязнения на шарике или в массе оплавленной паяльной пасты, шарик и паста вместе не сольются (рис. 2г). В результате получится дефектное паяное соединение «голова на подушке», когда компонент охладится до комнатной температуры и шарик припоя и паяльная паста отвердеют (рис. 2д).

Согласно данному механизму основной причиной возникновения дефекта «голова на подушке» становится присутствие зазора между оплавленными шариком припоя и отпечатком паяльной пасты на печатной плате (рис. 3). Если зазор не формируется в процессе пайки

оплавлением, то дефект «голова на подушке» не образуется, если только не присутствует загрязнение — либо на шарике припоя (например, остатки флюса от присоединения шарика), либо на поверхности паяльной пасты, или же есть избыточное окисление шарика припоя либо паяльной пасты. В этих случаях оплавленный припой шарика и отпечатка паяльной пасты не могут войти в контакт друг с другом.

Недостаточная температура оплавления также вызывает тот же самый характерный признак дефекта «голова на подушке», поскольку либо шарик припоя, либо паяльная паста, либо оба вместе не достигают температуры ликвидуса, чтобы полностью оплавиться до слияния и сформировать надежное с металлургической точки зрения паяное соединение.

### Состояния дефекта, связанные с технологическим процессом

#### Объем паяльной пасты

Паяльная паста состоит из двух важнейших компонентов — металлического порошка припоя и флюса. Оба они играют важную роль в формировании хорошего паяного соединения в процессе пайки оплавлением по технологии поверхностного монтажа.



Рис. 4. Контакт шариков BGA-компонента и паяльной пасты

Паяльная паста является средством обеспечения контакта между площадкой платы и припойным шариком BGA-компонента, а флюс удаляет окислы и защищает расплавленный припой в процессе формирования паяного соединения. Контакт между шариком и пастой необходим для обеспечения максимального удаления припоя в процессе оплавления, как показано на рис. 4.

Нанесение порошка припоя управляется с помощью конструкции аперттуры трафарета, а определенное соотношение объема флюса контролируется в процессе производства самой паяльной пасты. Таким образом, конструкция трафарета — наиболее значимый фактор в деле управления объемом нанесения паяльной пасты.

Хорошая конструкция трафарета (площадь аперттуры и отношение размера аперттуры к толщине трафарета) очень важна для обеспечения хорошего отделения пасты и эффективности ее переноса. Конструкции апертур в виде квадратов позволяют нанести больший объем припоя в сравнении с круглыми аперттурами (рис. 5).

Оборудование для инспекции паяльной пасты обычно предназначено для того, чтобы подсчитывать объем нанесенного на платы порошка припоя, и предполагается, что количество флюса непосредственно коррелирует с этим объемом.

На рис. 6 представлены данные, полученные от пяти конструкций апертур с последовательно увеличивающимся размером с целью варьирования объема наносимой паяльной пасты. Результаты показывают, что дефект «голова на подушке» наблюдается при малых объемах пасты (красные перекрестия), в то время как при больших объемах происходит образование переемычек (зеленые перекрестия). В данном эксперименте сушка

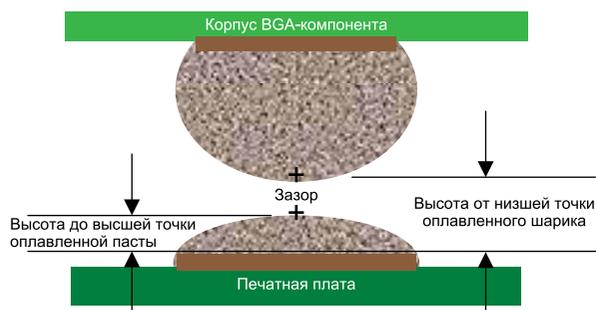


Рис. 3. Иллюстрация зазора между шариком припоя и паяльной пастой, предшествующего формированию большинства дефектов паяных соединений типа «голова на подушке»

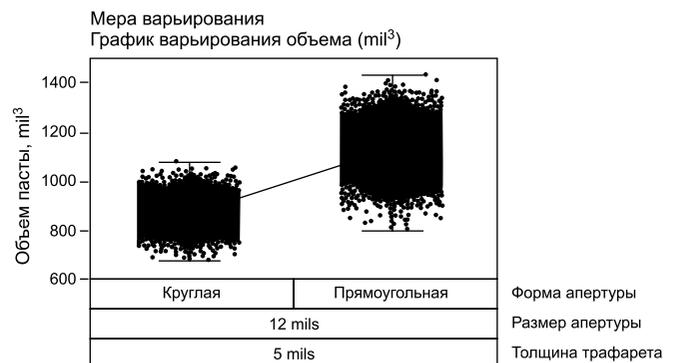


Рис. 5. Зависимость наносимого объема пасты от конструкции трафарета

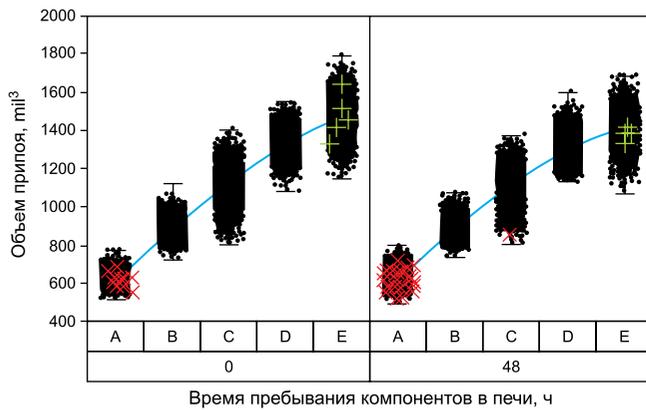


Рис. 6. Исследование объема припоя 1

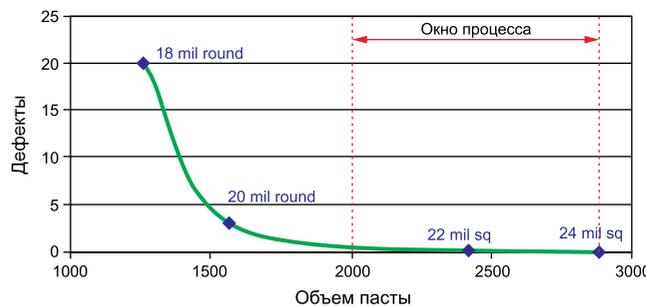


Рис. 7. Исследование объема припоя 2

компонентов также привела к росту дефектов «голова на подушке» и уменьшению окна процесса в результате увеличения толщины окисного слоя на шариках BGA-компонентов.

Наклонный график объема паяльной пасты для дефектов типа «голова на подушке»/перемычка и безопасное окно процесса с точки зрения объема пасты показан на рис. 7. Важно выбрать конструкцию апертур, располагающуюся по центру окна процесса с зазором с нижней стороны против дефекта типа «голова на подушке» и с верхней стороны — против образования перемычек.

Нанесенный трафаретной печатью объем паяльной пасты определяет высоту до высшей точки оплавленной пасты на контактных площадках платы в процессе пайки оплавлением. Большое значение этой высоты увеличивает вероятность контакта пасты с шариком припоя (рис. 3).

Объем пасты представляет собой исключительно модулятор дефекта «голова на подушке». Это не определяющий, а вторичный фактор. Когда есть проблема, связанная с дефектом «голова на подушке», известно, что малый объем паяльной пасты увеличивает процент появления этого дефекта, а большой — уменьшает.

**Смещение компонентов при установке**

Смещение компонентов при установке влечет за собой появление дефектов «голова на подушке». Исследование паяных соединений после процедуры анализа дефектов со снятием компонента показывает (рис. 8а), что ямка в шарике была смещена от центра,

и (рис. 8б) даже хорошие паяные соединения выглядят смещенными.

Для того чтобы определить, является ли смещение компонентов при установке основной причиной возникновения паяных соединений с дефектами типа «голова на подушке», с помощью пайки оплавлением было собрано шесть образцов тестовых плат с контактными панелями для BGA-компонентов, некоторые из этих панелей намеренно смещены на контролируемый размер относительно контактных площадок на печатной плате. Осуществлялась пайка пяти панелей на одну плату, причем одна из них устанавливалась точно (контрольный образец), две устанавливались с положительным смещением относительно направления пайки оплавлением на 125 и 250 мкм соответственно, а остальные — с отрицательным смещением относительно направления пайки оплавлением на 125 и 250 мкм соответственно.

Результаты анализа со снятием компонента, полученные по данным этого исследования, показали нулевой уровень дефектов типа «голова на подушке». Как видно на рис. 9, фотографии поперечных сечений демонстрируют, что хоро-

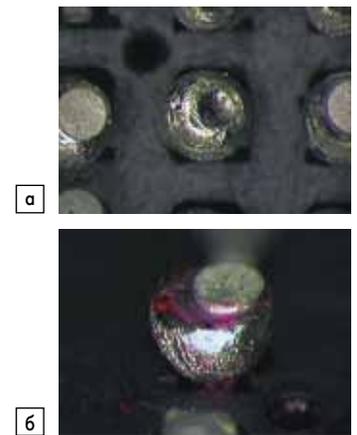


Рис. 8. а) Смещенная от центра ямка в шарике при наличии дефекта «голова на подушке»; б) смещенная от центра площадка в шарике хорошего паяного соединения после испытания со снятием компонента

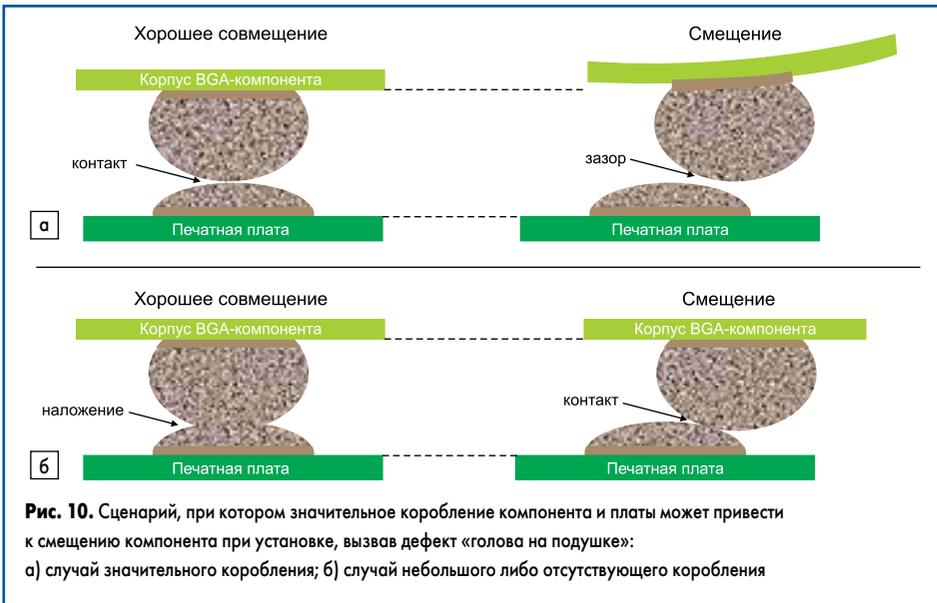
шие паяные соединения сформированы несмотря на намеренное смещение панелей. Таким образом, смещение компонентов при установке может не быть основной причиной появления дефектов типа «голова на подушке».

Тем не менее смещение компонентов при установке может быть «вторичной» основной причиной. Если присутствует значительное коробление компонента и/или печатной платы, который сокращает необходимое совмещение оплавленного припойного шарика и оплавленной паяльной пасты, то смещение компонента при установке может оказать дополнительное воздействие, вызывающее дефект «голова на подушке». Этот сценарий проиллюстрирован на рис. 10. Когда присутствует значительное коробление и смещение, между шариком припоя и паяльной пастой в процессе пайки оплавлением может сформироваться зазор, что приведет к образованию дефекта «голова на подушке» (рис. 10а). Однако если коробление минимально, то даже смещение компонента не обязательно создаст зазор, как это показано на рис. 10б.

Еще одна потенциальная причина возникновения зазора между оплавленным шариком и оплавленной паяльной пастой для матричных паяных соединений заключается в смещении, продемонстрированном на рис. 10а, которое вызвано не смещением компонента при установке, а несоответствием ТКЛР компонента и платы. Это обычно происходит у соединений первого уровня между кремниевым кристаллом и органическим основанием [1]. Несоответствие коэффициентов расширения не является основной проблемой для



Рис. 9. Смещения различных панелей. Полученные с помощью оптического микроскопа фотографии поперечных сечений смещенных контактных панелей BGA на тестовом образце платы



**Рис. 10.** Сценарий, при котором значительное коробление компонента и платы может привести к смещению компонента при установке, вызвав дефект «голова на подушке»: а) случай значительного коробления; б) случай небольшого либо отсутствующего коробления

соединений второго уровня, таких как BGA-компоненты или разъемы.

**Неполное оплавление**

Этот вид дефектов может быть описан следующим образом: неполное оплавление возникает, если шарик припоя или паяльная паста не оплавлены полностью в процессе пайки оплавлением. Обычно это не до конца оплавленный шарик BGA-компонента, так как он медленнее всего нагревается при пайке.

Основная причина образования дефектов типа «голова на подушке» в случае неполного оплавления — неправильный профиль оплавления. Он слишком холодный для того, чтобы полностью оплавить шарики BGA-компонента, и шарики не получают достаточный объем тепловой энергии, чтобы слиться с паяльной пастой. Это может стать и результатом отклонения процесса пайки от нормального режима или неисправности печи.

Данный дефект был воспроизведен в рамках планирования эксперимента с использованием более холодного термопрофиля, когда температура оплавления лишь на +7 °С превосходила температуру эвтектики. Проявление данного механизма образования дефекта в последнее время участилось при бессвинцовой сборке вследствие того, что в целях улучшения характеристик надежности своих изделий производители компонентов начали применять сплавы, альтернативные материалу SAC305. Примером альтернативного сплава служит SAC105 — сплав с меньшим содержанием серебра. Другой пример — сплав для шариковых выводов с добавлением такого элемента, как никель, магний и т. д. Смена сплава влияет на точку плавления и очень часто требует настройки термопрофиля. Во многих случаях компании-сборщики, использующие компоненты, не осведомлены об этих изменениях, и тогда вследствие неполного оплавления могут появиться дефекты типа «голова на подушке».

Обычно механизм дефекта проявляется в виде неосевшего шарика BGA-компонента (рис. 11а). Припой может выглядеть зернистым, а в экстремальных случаях — не слив-



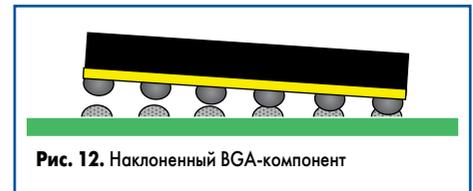
**Рис. 11.** Дефекты типа «голова на подушке» вследствие неполного оплавления: а) механизм дефекта проявляется в виде неосевшего шарика BGA-компонента; б) припой может выглядеть либо зернистым, либо не слившимся в единое целое

шимся в единое целое (рис. 11б). Поперечное сечение может продемонстрировать зернистую структуру между шариком BGA-компонента и паяльной пастой. Это становится индикатором того, что один из них либо оба не достигли правильной температуры оплавления. Чтобы предотвратить появление такого дефекта, необходимо хорошо управлять термопрофилем и понимать требования к пайке оплавлением для пасты и BGA-компонента.

**Параметры профиля оплавления**

Параметры профиля оплавления оказывают сильное влияние на чувствительность к образованию дефектов типа «голова на подушке». Идеальный вариант — одновременная пайка оплавлением всех компонентов на плате. Однако на всех платах во время пайки оплавлением наблюдается некоторая степень колебания температур между различными компонентами и в пределах одного компонента. Разница температур между самой холодной и самой горячей точкой обозначается  $\Delta T$  и на конкретной плате определяется конструкцией платы, топологией, материалом слоев, типом компонента и его материалом.

Существует два сценария, при которых  $\Delta T$  может повлиять на образование дефектов «голова на подушке». Сценарий 1 относится к легким BGA-компонентам. Если между сторонами BGA-компонента присутствует разница температур, одна из них подвергнется оплавлению раньше другой, что может вызвать наклон компонента, как это показано на рис. 12.



**Рис. 12.** Наклонный BGA-компонент

Паста оплавится в первом углу компонента, наклонит его, что приведет к воздействию высоких температур на другую сторону. На открытых шариках увеличится окисление, поскольку у них не будет защиты со стороны флюса из состава пасты, который, в свою очередь, снизит свою активность. Корпус вернется в плоское положение за счет смачивания пастой шарика, но то, насколько быстро это произойдет, зависит от силы смачивания пасты. К тому времени, когда это произойдет, в некоторых областях корпуса может возникнуть дефект типа «голова на подушке», так как в этих областях недостаточно активного флюса для уменьшения окислов на поверхности шариков.



**Рис. 13.** Плата для контроля  $\Delta T$

Для имитации высокого значения  $\Delta T$  в рамках легкого BGA-компонента размером 15×15 мм была использована контрольная плата. Чтобы создать  $\Delta T$  по площади BGA-компонента, к нижней части платы были прикреплены два куса материала FR4 таким образом, чтобы они располагались под половиной контактной площадки BGA-компонента (рис. 13). Эти куски FR4 являются экранами для передачи тепла к BGA-компоненту снизу. При температуре +217 °С было достигнуто значение  $\Delta T = +8$  °С. Результаты планирования эксперимента показали рост образования дефектов «голова на подушке» на 35% по сравнению с 0% без наличия кусков FR4 и  $\Delta T = +2$  °С.

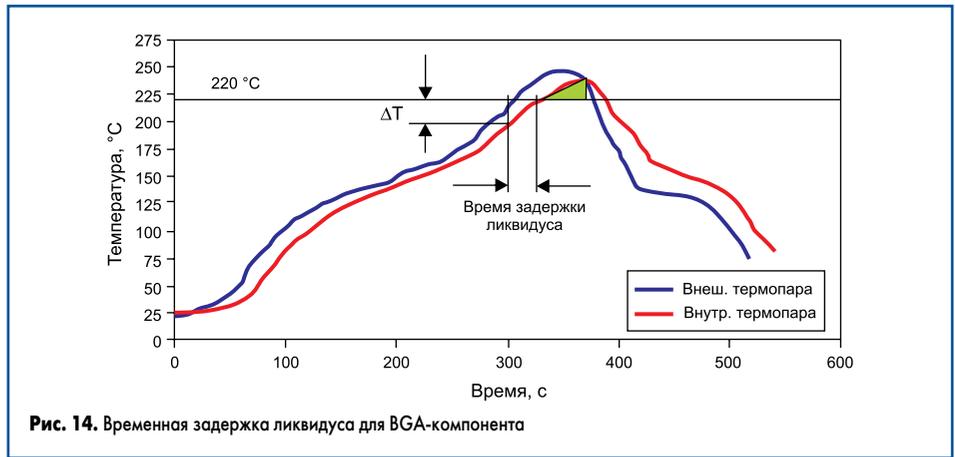
**Y.COUGAR SMT**  
**РЕНТГЕНОВСКИЙ КОНТРОЛЬ**  
 GLOBAL-SMT.RU  
 +7 (495) 980 0819  
**МОЩНОСТЬ НА МИШЕНИ, А НЕ ЦИФРЫ В ТАБЛИЦЕ**

Второй сценарий, при котором  $\Delta T$  оказывает влияние на появление дефектов «голова на подушке», относится к крупным BGA-компонентам, обладающим большой разницей температур между внутренними и внешними шариками. Поскольку никакой корпус не является абсолютно плоским, некоторые из шариков не войдут в контакт с пастой до тех пор, пока внутренние шарики не расплавятся и корпус не будет испытывать осадку.

Разница во времени между тем, как два занимающих крайнее положение (внешний и внутренний) шарика расплавятся до состояния ликвидуса, очень важна и носит название «временная задержка ликвидуса». Так как это время возрастает, происходит тот же эффект, что мы уже наблюдали в сценарии 1. В его рамках увеличивается время, в течение которого происходит окисление открытых шариков, поскольку отсутствует защищающий их флюс, и к тому времени, как происходит полная осадка корпуса, флюс уже потерял большую часть способности выполнять свои функции, что в результате ведет к появлению дефектов «голова на подушке» у некоторых паяных соединений. Также истинное время пребывания выше температуры ликвидуса (шарик находится в состоянии ликвидуса и в контакте с пастой, тоже находящейся в состоянии ликвидуса), которое испытывают внешние шарики, гораздо меньше, чем будет сообщено программным обеспечением устройства термопрофилирования.

На рис. 14 представлен термопрофиль для крупного BGA-компонента размером 50×50 мм. Временная задержка ликвидуса у этого профиля составляет 23,6 с при  $\Delta T = +9,3^\circ\text{C}$  при пиковой температуре и +22 при  $+220^\circ\text{C}$ . Истинное время пребывания выше температуры ликвидуса определяется как время, прошедшее с момента осадки корпуса до отверждения первого шарика. Из рис. 14 видно, что оно составляет 40,5 с, хотя это же время из программы равно 72 с.

Временная задержка ликвидуса, удерживающая шарик компонента от осадки, сокращает окно времени пребывания выше температуры ликвидуса и подвергает пасту воздействию высоких температур, пока корпус находится в поднятом состоянии. Оба этих состояния — временная задержка ликвидуса и истинное время пребывания выше температуры ликвидуса (называемое нами также эффективным временем пребывания) — важные параметры для понимания и оценки риска образования дефектов «голова на подушке» в рамках техпроцесса поверхностного монтажа. Временная задержка ликвидуса будет влиять на деградацию свойств пасты при высоких температурах, а истинное время пребывания выше температуры ликвидуса — на время контакта шарика и пасты. На рис. 15 представлена общая картина допустимых значений этих параметров для предотвращения образования дефектов «голова на подушке». Данные на графике получены от различных корпусов, смонтированных с разными термопрофилями в воздушной ат-



**Рис. 14.** Временная задержка ликвидуса для BGA-компонента



**Рис. 15.** Временная задержка ликвидуса и истинное время пребывания выше температуры ликвидуса

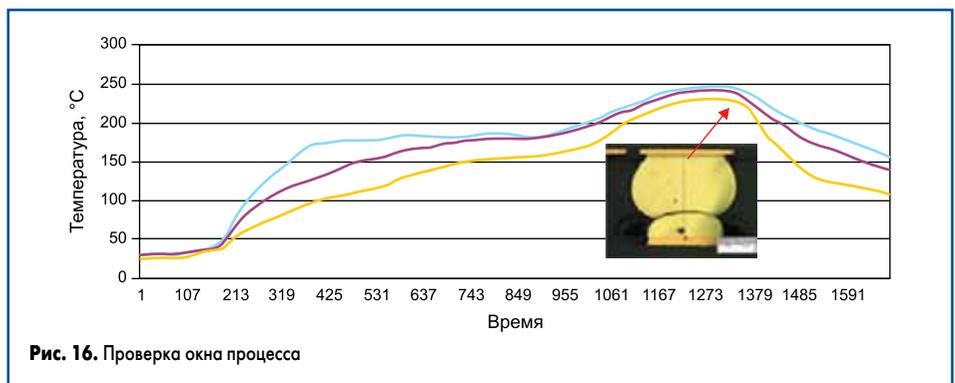
мосфере пайки оплавлением. В зоне дефектов «голова на подушке» промаркировано каждое состояние, содержащее этот дефект.

Необходимо учесть, что кривая на рис. 15 иллюстрирует конкретный тип испытываемой пасты, имеющей точку пересечения на оси истинного времени пребывания выше температуры ликвидуса на 25 с. Этот период — предельное время для пасты, чтобы создать хорошее паяное соединение, когда время задержки отсутствует. Для различных паст кри-

вая будет изменять свое положение. Кривая также сдвинется влево в условиях азотной атмосферы, при которой окно процесса для дефекта «голова на подушке» увеличивается.

### Пиковая температура и время пребывания выше температуры ликвидуса

Среди параметров оплавления, влияющих на образование дефектов «голова на подушке», — пиковая температура и время пребы-



**Рис. 16.** Проверка окна процесса

**Таблица 1.** Проверка окна процесса

	Пайка оплавлением	Пиковая температура, 230–250 °C	Выдержка, 60–120 с	Время выше ликв., 30–60 с	Диапазон компланар., mils	Выход годных
1	Низкая температура	231,7	61,1	28,5	3,97–6,46	98% (49/50)
2	Высокая температура	247,1	119,4	59,6	3,55–6,94	100% (50/50)
3	Средняя температура	239,3	90	47,3	3,71–6,83	100% (25/25)

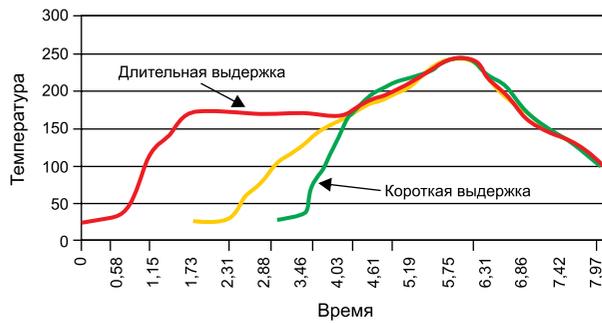


Рис. 17. Сравнение времен выдержки термопрофилей

Таблица 2. Планирование эксперимента по времени выдержки

	Время между 150–175 °С, с	Время между 175–217 °С, с	Время выше лив. 217 °С, с	Пик. темп., °С	Уровень дефектов «голова на подушке», %
Короткая выдержка	13	56	65	242	7
Средняя выдержка	33	56	67	241	22
Длительная выдержка	162	63	60	241	100



Рис. 19. Темные пятна на шариках

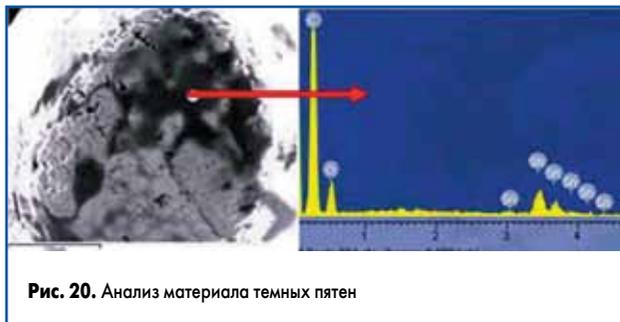


Рис. 20. Анализ материала темных пятен

вания выше температуры ликвидуса. Когда мы имеем дело с таким типом дефектов, увеличение обоих этих параметров может уменьшить уровень образования дефектов благодаря добавлению времени на контакт корпуса с пастой после полной осадки и слияния. Характеристики пасты должны допускать такое увеличение времени, в противном случае оно не окажет положительного воздействия.

Для проверки окна процесса пайки оплавлением было выполнено планирование эксперимента. Результаты показали, что малое время пребывания выше температуры ликвидуса и малая пиковая температура термопрофиля повышает уровень образования дефектов «голова на подушке» (рис. 16, табл. 1).

**Время выдержки**

Еще один параметр пайки оплавлением, который может оказать воздействие на образование дефектов типа «голова на подушке», — время выдержки. Воздействие зависит от типа используемой пасты и ее поведения при высоких температурах. Описанное ниже планирование эксперимента показывает значительное воздействие времени выдержки на образование дефектов «голова на подушке» для конкретной пасты LF (табл. 2). В эксперименте использовались три различных термопрофиля с разным временем выдержки (коротким, средним и длительным), представленные на рис. 17. Короткая выдержка лучше

всего подходит для уменьшения уровня образования дефектов «голова на подушке» для исследуемого типа пасты.

**Загрязнения**

Этот механизм образования дефектов заключается в отсутствии смачивания шарика пастой вследствие присутствия постороннего материала на шарике или в пасте. Данный дефект представляет собой отклонение от нормального режима в присутствии постороннего вещества, такого как NaCl, Si и т. д. Такое присутствие может быть результатом загрязнения в процессе сборки корпуса, во время обращения с ним или загрязнения от материала упаковки. Одним из примеров является образование дефектов «голова на подушке» на материнских платах. Визуальная инспекция обнаружила посторонний материал на некоторых шариках перед сборкой по технологии поверхностного монтажа. Анализ методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии выявил присутствие кремния в качестве постороннего материала. Анализ у заказчика показал, что для маркировки восстановленных модулей использовалась клейкая лента из кремния. Лента оставила следы на шариках, мешающие смачиванию в процессе пайки оплавлением (рис. 18). В результате была применена другая процедура маркировки восстановленных модулей без использования клейкой ленты.

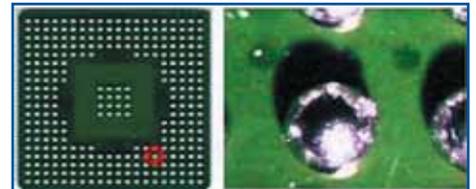


Рис. 18. Посторонний материал на шарике

Если в процессе присоединения шарика использовалось слишком много флюса, он может израсходоваться не полностью. Избыточный флюс может обуглиться и остаться на поверхности припойного шарика. Его можно наблюдать с помощью микроскопа (рис. 19).

Анализ методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии показал сильный сигнал углерода (рис. 20).

В основании шарика рядом с контактной площадкой корпуса часто обнаруживаются остатки флюса, и это не является проблемой. Если остатки обнаруживаются на конце припойного шарика, где он соприкасается с паяльной пастой, то они влияют на образование дефектов «голова на подушке».

Загрязнения — один из механизмов, при котором для образования дефектов «голова на подушке» нет необходимости в наличии зазора между пастой и шариком BGA-компонента.

В работу с дефектами «голова на подушке» внесли свой вклад многие специалисты компании Intel. Авторы выражают особую благодарность Сатяжиту Валвадкору (Satyajit Walwadkar) и Срини Аравамудхану (Srinivasa Aravamudan).

*Продолжение следует*

**Литература**

1. Xiong Z. P., Sze H. P., Chua K. H. Bump Non-wet issue in large-die flip chip package with eutectic Sn/Pb solder bump and SOP substrate pad. Proceedings of the Electronic Packaging Technology Conference, 2004.
2. Darken L. S., Gurry R. W. Physical Chemistry of Metals. Mc-Graw Hill, NY, 1953.
3. Chin W. W., Chong C. C., Ng L. H., Tay C. S. Air Reflow of Lead Free Soldering for Fine Pitch BGA. Proceedings of SMTAi Conference, 2006.

**FinePlacer CORE**  
 УНИВЕРСАЛЬНЫЙ  
 РЕМОНТНЫЙ ЦЕНТР  
 УСТАНОВКА  
 И СЛОЖНЫЙ  
 РЕМОНТ BGA  
 GLOBAL ENGINEERING GLOBAL-SMT.RU  
 +7 (495) 980 0819

# Вакуумные миксеры — оборудование для приготовления отечественных компаундов, клеев и герметиков

В арсенале компании Остек имеется оборудование для автоматизации процессов подготовки материала и дозирования, в том числе в вакууме. Это оборудование представлено ведущими мировыми производителями, их продукция покрывает большую часть потребностей современного производства: от смешивания отечественных нетехнологичных материалов (например, Висксинт У-1-18, Висксинт У-2-28, Висксинт К-68) до крупносерийной заливки изделий в вакууме. Но этого оказалось недостаточно.

Илья Усов

[cable@ostec-group.ru](mailto:cable@ostec-group.ru)

На встречах с клиентами мы часто слышали такие вопросы: «А что у вас есть для непопулярных в производстве материалов?», «Есть ли у вас оборудование для опытного производства?», «Мы представители научно-исследовательского института, нам нужна небольшая лабораторная установка для смешивания материалов и проведения опытов. Что вы можете предложить?». И в ответ мы предлагали оборудование из существующей продуктовой линейки, которое, безусловно, подходило по всем параметрам и требованиям для подготовки и смешивания материалов. Но порой перед нашими клиентами вставала проблема срока окупаемости автоматической системы: кто-то использует непопулярные материалы, которые могут быть востребованы только несколько раз в месяц; кто-то проводит опыты с различными материалами и нужна универсальность и простота промывки системы. А кого-то попросту не устраивали габариты оборудования. Для решения этих задач в нашей линейке оборудования

появились вакуумные миксеры японской фирмы HIVIS MIX, способные восполнить пробел в подготовке и смешивании многокомпонентных клеев, герметиков и компаундов для выпуска малых серий и опытного производства.

При смешивании компонентов вакуумные миксеры предоставляют возможность отказаться от ручного труда в пользу автоматического. Также они позволяют дегазировать компоненты смеси. Дегазированный и гомогенизированный материал снижает риски несоответствия конечных свойств материала требуемым эксплуатационным характеристикам (адгезия, прочность, эластичность, твердость), а также количество воздуха в полимеризованном материале, повышая качество выпускаемых изделий.

Вакуумные миксеры HIVIS MIX предназначены для гомогенного смешивания и дегазации высоковязких, высоконаполненных и высокоабразивных материалов. Вязкость может достигать значений

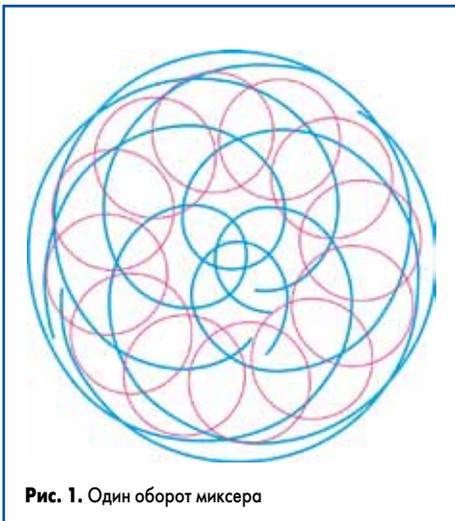


Рис. 1. Один оборот миксера

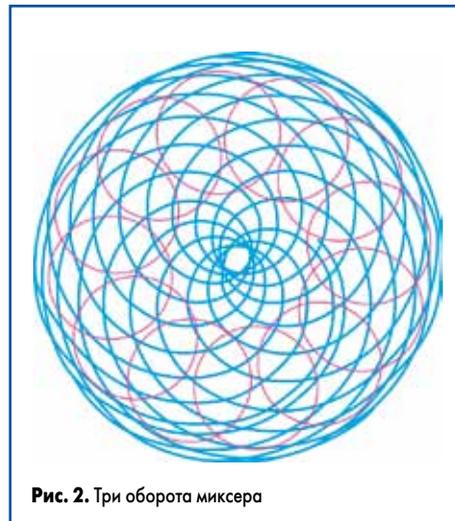


Рис. 2. Три оборота миксера

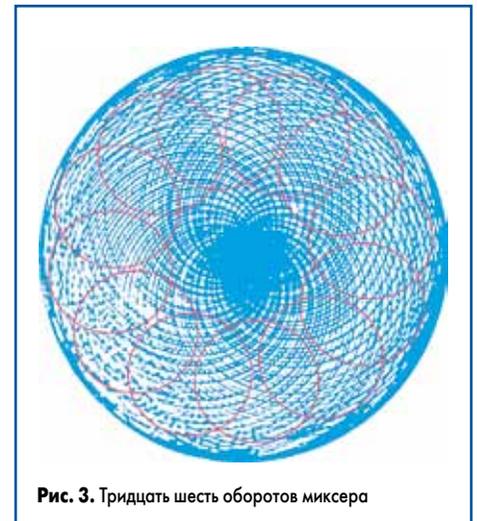


Рис. 3. Тридцать шесть оборотов миксера



Рис. 4. Вакуумный миксер HIVIS MIX Model 2P-1



Рис. 5. HIVIS MIX Model HM-3D-5



Рис. 6. HIVIS MIX Model HM-3D-5

~1000 Па·с, а соотношение смешиваемости весовых частей при этом составляет ~1000:1. Для продления срока службы миксера при смешивании высокоабразивных материалов на лопасти и внутреннюю поверхность резервуара нанесено керамическое покрытие.

Планетарный механизм вакуумного миксера состоит из двух вращающихся вокруг своей оси лопастей и высокоскоростного турбомиксера, которые орбитально передвигаются на общей оси. Данная технология обеспечивает гомогенное смешивание продукта во всем объеме сосуда, а система управления с обратной связью позволяет сохранять скорость смешивания постоянной, независимо от изменения вязкости продукта. Траектории движения лопастей (синий цвет) и турбомиксера (красный цвет) в резервуаре показаны на рис. 1–3.

Итак, исходя из пожеланий наших клиентов, нам был необходим миксер, способный гарантированно «замешать» материал в лабораторных условиях.

Для испытаний был выбран материал Виксинт У-1-18 как наиболее сложный (соотношение смешиваемости 400:1 по весу) и «капризный» (не допускает перегрева в процессе смешивания) среди отечественных герметиков. Виксинт — это силиконовый двухкомпонентный герметик, выпускается в виде пастообразного вещества, окрашенного в белый цвет. При температуре, равной температуре окружающей среды, герметик способен вулканизироваться и переходить в состояние, схожее с резиной, что позволяет использовать его при герметизации различных металлических соединений из титановых, алюминиевых сплавов, нержавеющей стали. Материал идеально подходит для аппаратуры, эксплуатируемой при непосредственном воздействии ударных и вибрационных нагрузок, его работоспособность сохраняется при температурах  $-60 \dots +300$  °С. Благодаря своим свойствам герметик широко используется на предприятиях для производства спецтехники.

После тестирования нескольких моделей был выбран вакуумный миксер HIVIS MIX Model 2P-1 (рис. 4).

Преимущества миксера HIVIS MIX Model 2P-1:

- компактные размеры (габариты Ш×Г×В: 210×397×666 мм, вес: 35 кг);
- оптимальный объем рабочего резервуара (рабочий объем: 1 л);
- возможность работы с отечественными материалами;
- возможность подключения к системе подогрева/охлаждения резервуара;
- возможность дегазирования материала;
- интеллектуальная система контроля скорости смешивания;
- свободный доступ к рабочим поверхностям миксера для облегчения процесса очистки;
- наличие информационного дисплея для контроля температуры, скорости вращения лопастей смесителя, времени цикла;

**Таблица 1.** Зависимость размеров установки от модели

Модель	Размеры					
	А, мм	В, мм	С max, мм	L, мм	T max, мм	W, мм
HM-3D-20	350	290	550	2470	2505	750
HM-3D-50	480	390	550	2690	2650	850
HM-3D-125	650	530	900	3050	3740	1280
HM-3D-250	800	670	900	3135	3830	1280
HM-3D-500	1000	850	950	4800	4600	1560
HM-3D-800	1150	1000	1100	5200	5200	1800
HM-3D-1250	1350	1150	1300	5500	5700	2000

**Таблица 2.** Основные технические характеристики моделей

Модель	Объем, л	Планетарный миксер				Вес миксера, кг
		Мощность двигателя, кВт		Скорость вращения, об/мин		
		Стандартный тип	Повышенной мощности	Вокруг орбиты	Вокруг оси	
HM-3D-5	5	1,5	–	5–75	12–187	340
HM-3D-20	20	0,75	1,5	55	140	1700
HM-3D-50	50	1,5	2,2	42	108	2000
HM-3D-125	125	3,7	5,5	34	88	4500
HM-3D-250	250	5,5	7,5	28	72	5500
HM-3D-500	500	11	15	24	63	10 000
HM-3D-800	800	15	22	22	56	12 000
HM-3D-1250	1250	22	30	20	52	16 000


**Рис. 8.** HAVIS MIX Model HM-3D-1250

**Рис. 7.** HAVIS MIX Model HM-3D-20

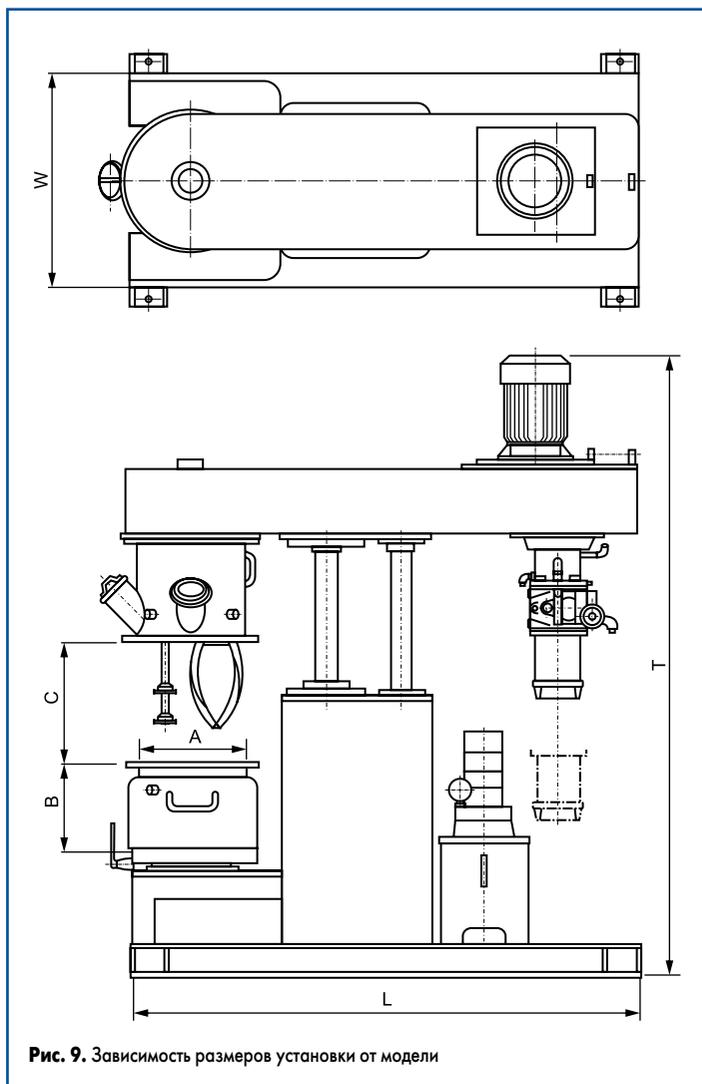
- современный контроллер для создания отчетов о работе с текущими материалами для переноса настроек на промышленное оборудование большого объема.

Таким образом, вакуумный миксер HAVIS MIX Model 2P-1 — это эффективное решение для небольших объемов материала, которое позволит значительно повысить надежность и качество производимых изделий.

Благодаря своим характеристикам вакуумные миксеры могут применяться не только в лабораторных условиях, но и во многих отраслях промышленности — электротехнической, химической, пищевой, медицинской и других (рис. 5–9, табл. 1, 2).

### Краткий обзор моделей вакуумных миксеров японской торговой марки HAVIS MIX

Рассмотренное оборудование не исключает влияния человеческого фактора на технологический процесс приготовления материала, так как количество загружаемых компонентов в рабочий резервуар отweighивается оператором вручную. Однако оно позволяет получить однородную смесь и минимизировать количество воздуха в полимеризованном материале. Вакуумные миксеры способны решать задачи научно-иссле-


**Рис. 9.** Зависимость размеров установки от модели

довательской деятельности за счет своей универсальности и простоты промывки, а также вопросы «непопулярности» и многокомпонентности материалов, используемых в отечественной радиоэлектронной промышленности. Вакуумный миксер можно рассматривать в качестве промежуточного решения между ручным и полностью автоматическим процессом приготовления, смешивания и дозирования материалов.

# Преимущества использования тестеров проводного монтажа

**Сегодня практически ни один продукт передовой мысли, начиная от электрочайника и заканчивая самолетом, невозможно представить без электроники и проводных соединений. Любой современный автомобиль, буквально напичканный электроникой, должен отвечать требованиям высокой функциональности, экономичности, безопасности и надежности. Самолет в случае отказа электроники теряет управление, следовательно, качество электронных изделий, встроенных в технику, а также проводных соединений в них отвечает за безопасность конечного пользователя — пассажира.**

**Олег Суворов**

osuvorov@sovtest.ru

**П**онимая это, ведущие мировые производители авиатехники не ограничились тестированием жгутов перед укладкой в изделия. Повторное тестирование бортовой сети (рис. 1) проводится после монтажа жгутов на производстве и в ходе периодических регламентных работ по обслуживанию изделий.

Исправность бортовых жгутов — один из наиболее критических факторов в авиационной промышленности. Незначительный на первый взгляд дефект хотя бы одного из проводов может привести к катастрофическим последствиям. Большинство производителей не проводят входной контроль комплектации, полагаясь на выходной контроль поставщиков. При этом факт, что, например, жгуты, подверженные наибольшему риску из-за своей хрупкости, могут быть повреждены в процессе монтажа, не учитывается, а изделие проверяется уже после окончательной сборки по принципу «работает/не работает».

Конечно, гораздо проще и дешевле устранить брак до монтажа в изделие, но при прокладке уже проверенных жгутов зачастую наносятся механические повреждения кабелям (растягивание, нарушение рекомендуемых углов изгиба и т. п.), что впоследствии становится причиной нового дефекта. В итоге при запуске изделия с дефектными жгутами могут выйти из строя дорогостоящие блоки, что сведет на нет экономию на тестовом оборудовании.

По различным причинам (дублирование бракованной линии, повреждения изоляции, плохо обжатые контакты, некритичность дефекта и др.) некоторые неисправности могут быть вообще не обнаружены во время приемо-сдаточных испытаний. Подобные скрытые и «непредсказуемые» дефекты, словно бомба с часовым механизмом, ждут своего часа. В итоге все такие дефекты проявляются в ходе эксплуатации и приводят к рекламациям и репутационным потерям, которые обходятся намного дороже, чем диагностика и устранение проблемы на первоначальном этапе.

## О современных тестерах кабеля

Современное тестовое оборудование для контроля качества проводного монтажа позволяет не только

проверять наличие связей и отсутствие замыканий, но и определять все скрытые дефекты и предпосылки для возникновения отказов. Это достигается за счет отслеживания электрических параметров кабеля на всем цикле производства. Тестер контролирует значения сопротивлений жил, паразитных емкостей, сопротивление изоляции и электрической прочности изоляции жгутов до укладки в изделие и после. Также с помощью аппаратно-программных средств отслеживаются кратковременные изменения параметров жил жгутов, которые вызваны некачественным контактом. Выход параметров за рамки допустимых или изменения параметров после монтажа могут свидетельствовать о нарушении технологий сборки, наличии предпосылок для возникновения дефекта и требуют внимания оператора. При этом достигается локализация дефектов вплоть до указания конкретного контакта на разъеме жгута. Или же, если есть повреждения на самом кабеле, указывается участок жгута, причем с точностью до 5% длины кабеля.

В зависимости от изделия, подлежащего тестированию, целесообразно использовать различные модификации тестеров — от малого настольного оборудования для тестирования небольших жгутов, насчитывающих до 1000 контактов, до больших систем с распределенными блоками коммутации на 50 000 контактов и более. В свою очередь важную роль играет и программное обеспечение тестера, удобное и отлаженное на тысячах пользователей решение, которое гарантирует максимальную скорость тестирования до 500 тестовых точек в секунду, широкие возможности поиска, локализации и отладки дефектов изделия.

Самым универсальным решением в области автоматизации контроля проводного монтажа являются настольные тестеры.

## Настольные тестеры проводного монтажа

Настольные тестеры отличаются эргономичным исполнением, удобством использования оператором, бюджетностью. Модульная архитектура тестеров позволяет подобрать оптимальное решение под любые производственные требования. В случае необходи-



**Рис. 1.** Тестирование бортовой системы самолета


**Рис. 2.** Быстросъемный адаптер

**Рис. 3.** Тестер проводного монтажа W434R

мости тестер всегда может быть расширен в плане увеличения как числа каналов, так и измерительных возможностей за счет подключения сторонних измерителей. При этом управление всей системой реализуется единым программным обеспечением — таким образом поддерживается максимальная автоматизация и простота работы оператора.

Управляющий компьютер действует на операционной системе Windows, имеет все стандартные порты ввода/вывода, что позволяет использовать любые периферийные устройства, такие как принтер, сканер штрихкодов

и другие. Работа операторов построена на интуитивно понятном русскоязычном, отлаженном интерфейсе.

Одним из достоинств настольных тестеров является система крепления быстросъемных адаптеров (рис. 2) и их идентификации, за счет чего перенастройка тестера на проверку другого типа изделий занимает не более 30 с.

Хорошим примером настольного тестера проводного монтажа служит новый продукт компании «Совтест АТЕ» — тестер W434R (рис. 3), предназначенный для обнаружения и локализации дефектов проводного монтажа,

жгутов и кабелей, а также для функционального контроля компонентов. Сфера его применения очень велика, начиная от тестирования на КЗ/обрыв простых жгутов и заканчивая комплексным анализом всей схемы в изделиях.

Высокоскоростной измеритель тестера позволяет в автоматическом режиме проверять изделия на соответствие таблице соединений, измерять качество соединений, контролировать качество изоляции и компоненты. Кроме того, тестер проводного монтажа W434R способен выполнять:

- проверку целостности и разобщенности проводников на соответствие документации или эталонному изделию;
- измерение сопротивления проводников (двух- или четырехпроводных);
- проверку правильности распайки витой пары;
- измерение компонентов (резисторы, конденсаторы, диоды).

Опционально данное решение можно использовать для проверки кабеля на пробой при постоянном или переменном токе, для измерения сопротивления изоляции и токов утечки, функционального тестирования компонентов.

Среди особенностей тестера можно назвать высокие эксплуатационные показатели скорости и точности измерений, надежности, простоту эксплуатации, возможность добавления инструкций для оператора, возможность монтажа различных разъемов на лицевой панели тестера.

В настоящий момент компания «Совтест АТЕ» занимается контрактной сборкой, калибровкой, первичной поверкой и предпродажной подготовкой тестовых систем W434R (рис. 4, 5). Специалисты компании способны полностью адаптировать тестеры под требования российских заказчиков, существенно


**Рис. 4.** Контрактная сборка тестовых систем W434R специалистами ООО «Совтест АТЕ»

**Рис. 5.** Калибровка тестовых систем W434R

**Рис. 6.** Комплектующие к тестерам W434R

уменьшить сроки поставки и гарантировать качество поставляемых решений. Более того, организован склад запасных частей и комплектующих тестера (рис. 6), позволяющий восстанавливать тестовую систему в максимально короткие сроки. Следует отметить, что оборудование получило полную метрологическую поддержку. Программное обеспечение и руководства переведены на русский язык (рис. 7). Таким образом, любое отечественное предприятие может гарантированно рассчитывать на поставку и обслуживание передового оборудования для проверки проводного монтажа российского производства.

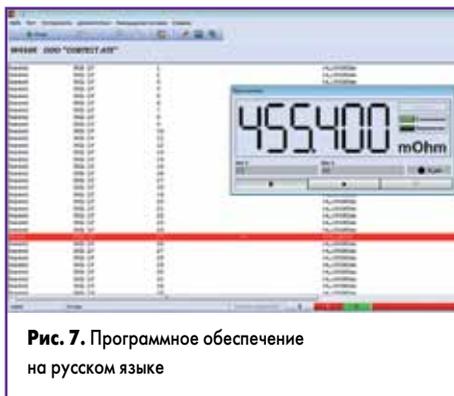


Рис. 7. Программное обеспечение на русском языке

## Конференция по печатным платам в Дубне



25–26 июня в г. Дубне Московской области состоялась XIII Международная конференция «Основные направления развития технологий, оборудования и материалов для производства печатных плат», которая собрала более 130 участников из 23 российских городов.

На мероприятии присутствовали почти все ведущие поставщики технологий и оборудования и представители российских производителей печатных плат. Докладчики из России, Германии, Израиля и Швейцарии подробно рассмотрели все аспекты современных решений, используемых при производстве плат до 6–7-го классов точности, включая вопросы металлизации плат, прямого лазерного экспонирования, механической и лазерной обработки, подготовки поверхности слоев к пресованию, оптического и электрического контроля, регенерации и поддержания характеристик рабочих растворов и другие. Впервые наша конференция собрала столь широкую аудиторию и, без сомнения, стала важнейшим отраслевым форумом.

Центральным событием конференции стало посещение завода ООО «Связь инжиниринг КБ» — предприятия полного производственного цикла по изготовлению прецизионных

двусторонних и многослойных печатных плат до 6-го класса точности по российскому стандарту (проводник/зазор — 75 мкм), которое с 1 июля введен в эксплуатацию и начал выполнять заказы потребителей. Завод расположен на территории технико-внедренческой особой экономической зоны в г. Дубне. Это первое в России предприятие, спроектированное и построенное «с нуля» с расчетом на оптимальную организацию современного производственного цикла и оснащенное самым современным европейским оборудованием. Завод предусматривает производство прототипов, а также малых и средних серий печатных плат высокой степени сложности и при выходе на проектную мощность (55 000 м<sup>2</sup>) сможет обеспечить потребности российского рынка в сложных печатных платах с коротким сроком изготовления. До последнего времени почти 100% таких плат закупались за рубежом.

Особое внимание проектировщики завода уделели вопросам экологической безопасности производства и энергоэффективности используемого оборудования, применив для этих целей самые передовые известные решения.

[www.pcb-forum.info](http://www.pcb-forum.info)

**Тестеры проводного монтажа**

Тестер W434R

Тестер WK 260 PC

Тестер WK 140

Тестер W454

тел.: 8-800-200-54-17  
 факс: (4712) 56-35-50  
 E-mail: [info@sovtest.ru](mailto:info@sovtest.ru)  
 Web: [www.sovtest.ru](http://www.sovtest.ru)

# Политика аналитики

## Современные программные разработки позволяют эффективно решить проблему сбора и анализа информации на производстве

**Знаменитые слова Ротшильда «Кто владеет информацией — тот владеет миром» очень четко описывают желание руководства большинства компаний быть в курсе всех событий. И это желание вполне понятно, так как эффективно управлять можно только тем, о чем имеешь информацию. Особенно остро это проявляется на производстве, когда изделий много, сроки горят, а недовольные заказчики грозятся идти или в суд, или к другому производителю.**

**Алексей Бархударов**

bav@dipaul.ru

**Посоветуемся...**

Для понимания текущей ситуации на производстве используются все возможные источники получения данных: совещания, системы отчетов, диспетчеры для сбора информации и целые бюро.

Совещания вообще отдельная история. Они начинаются ежедневными цеховыми планерками по утрам, несколько раз в неделю продолжаются собраниями у начальников производств и заканчиваются заседаниями у генерального директора. Да, неотложные вопросы возникают не всегда. Да, не всех текущая повестка дня касается напрямую, но присутствовать должны все. Таков регламент. И таков классический пример того, как безвозвратно поглощается рабочее время, как снижается эффективность работы.

Основная проблема всех классических методов получения данных — отсутствие достоверной информации. Зачастую данные либо неправильные, либо уже устарели, либо намеренно искажены подчиненными. Далеко не всегда производственные работники, предоставляющие отчеты, заинтересованы в прозрачности процесса получения этих сведений. Излишняя открытость, усиливая контроль со стороны руководства, лишает производителей возможности «маневра». Помимо этого, чтобы получить нужную информацию, необходимо перелопатить огромное количество документов. Любой отчет — это сбор данных, их обработка и выдача в удобной форме. Это временные затраты. И не только временные, если к задаче дополнительно привлекаются программисты, пишущие запросы в базу данных (если таковая имеется).

**Что же делать, если не удастся оперативно получить достоверную информацию?**

Наиболее эффективный и хорошо зарекомендовавший себя метод сбора данных для анализа дея-

тельности предприятия — использование специализированного производственного программного обеспечения, хотя и у него есть свои подводные камни.

Приведем основные требования к системе отчетности для производства.

### **Максимальная автоматизация сбора и занесения данных**

Мысль понятна: чем меньше задействуется людей, тем меньше ошибок и искажений. Если изделие прошло через определенную операцию, это событие должно быть зафиксировано в базе данных системы напрямую от установки. Например, установщик компонентов смонтировал плату. Данные об установленных компонентах с привязкой к заводским номерам изделий и номерам партий, производительности машины, ошибках и дефицитах должны отображаться в системе без участия персонала. Если же операция выполнялась сотрудником, то данные должны вноситься в максимально удобной форме и непосредственным исполнителем (без посредников в лице диспетчера, распреда работ или мастера участка).

### **Возможности анализа данных в реальном времени**

Требование продиктовано современными условиями на рынке и жесткими сроками выполнения заказов. Наверное, многим руководителям знакома ситуация, когда необходимо сообщить заказчику срок готовности изделия. Возможно, просмотрев вчерашний отчет по производству и просчитав время на выполнение оставшихся операций, руководитель рапортует, что изделие будет готово через определенное количество дней. Но если изделие неожиданно вернется на ремонтный маршрут с последующим повторным циклом испытаний, то срок изготовления значительно увеличится, а руководителя посчи-

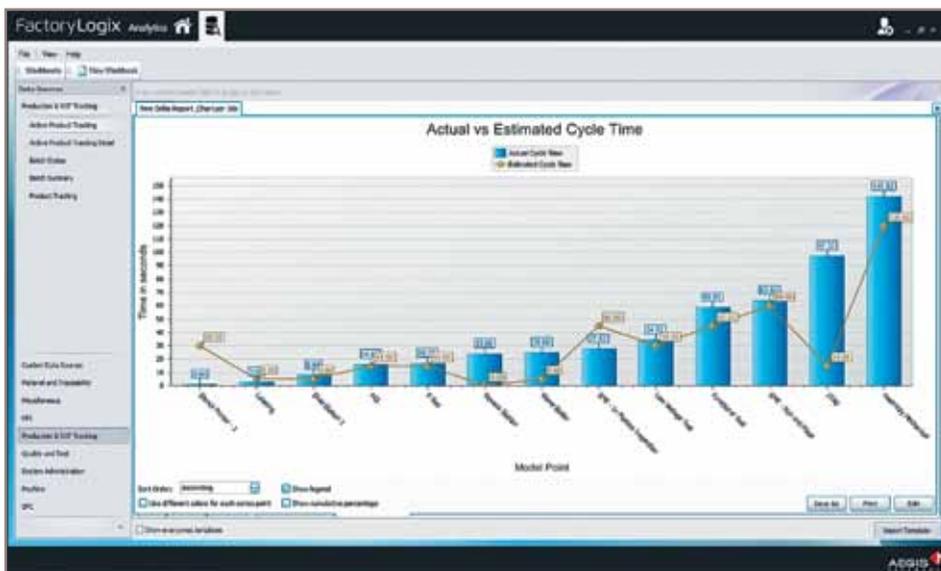


Рис. 1. Диаграмма сравнения фактического и планового времени выполнения операций



Рис. 2. Диаграмма наиболее распространенных дефектов, обнаруженных в течение месяца

тают некомпетентным. Если система позволяет получать данные в реальном масштабе времени — подобного казуса не произойдет (рис. 1).

**Максимально простая и удобная форма получения отчетов пользователями**

Создатели любого программного обеспечения традиционно решают задачу, как пользователи будут получать информацию. Для этого IT-специалисты должны изучить структуру базы данных продукта, а затем разработать структурированный запрос на получение сведений. Это длительный и дорогостоящий процесс с дополнительным звеном между сотрудниками и имеющимися данными, которые необходимо использовать. Гораздо проще выглядит система, позволяющая любому пользователю получать, фильтровать, сортировать, группировать и даже экспортировать огромное количество данных, не прибегая к помощи SQL-запросов и не применяя специальных IT-навыков. Выходные данные тоже

должны демонстрироваться в различных вариантах: сводные таблицы, интерактивные детализированные графики, диаграммы и официальные формы отчета.

**Возможность передачи информации заинтересованным работникам**

Менеджеры и инженеры нуждаются в своевременной информации. Компиляция и распространение отчетов могут быть трудоемкими и потому неэффективными, но наличие встроенного планировщика отчетов заметно облегчает задачу. Он позволяет автоматически сгенерировать любой отчет, а затем доставить по электронной почте на выбор любому пользователю или департаменту. Полностью автоматизированный процесс обеспечивает разнообразие сценариев выполнения и устраняет необходимость лишней раз обращаться к системе, экономя время пользователей. К примеру, ежедневная рассылка отчетов по незавершенному производству или по качеству собираемых изделий способна заменить производственные планерки (рис. 2).

**Максимально полное удовлетворение потребностей всех участников производственного процесса**

На предприятии системой отчетности пользуются не только производственные работники и руководство, но и специалисты других отделов. Проблема в том, что в этом случае виды запросов могут сильно различаться. Мастеру участка важна информация по новым запускам или отложенным партиям, технологом нужен анализ качества или SPC-данные, разработчикам — сведения о тестировании изделий, экономистам — трудоемкость, руководству — эффективность и производительность, отделу продаж — сроки завершения изготовления, отделу качества — история изделий, количество возвратов и причины отказов. Поэтому хорошая система должна предоставлять данные по многим показателям и для всех сотрудников.

**Способность системы самостоятельно реагировать на отклонения**

Что сделает мастер участка, если увидит заметное ухудшение качества выпускаемых изделий? В первую очередь остановит процесс изготовления. Если эту функцию переложить на систему, время реакции однозначно уменьшится. Программа с заданными пороговыми значениями может контролировать показатели и блокировать линии и оборудование. Если доверия к искусственному интеллекту нет, то можно попросить программу присылать уведомления об отклонениях, на основании которых ответственный работник примет определенное решение по дальнейшим действиям.

**...И решим**

Модуль Analytics программного продукта Factory Logix компании Aegis Software соответствует перечисленным требованиям и обладает многими другими возможностями. Этот продукт является составной частью большой MES-системы, успешно зарекомендовавшей себя во всем мире.

Самое большое достоинство MES-систем — доступность информации, и FactoryLogix предоставляет наиболее полный инструмент для этого. Модуль аналитики позволяет выдать любую производственную информацию тем, кто в ней нуждается.

**Контроль за ходом производства**

Следить за ходом выполнения операций с FactoryLogix действительно можно в реальном времени. На панелях, предназначенных для установки над линиями сборки, в режиме слайд-шоу постоянно обновляется информация о производственных процессах. FactoryLogix использует передовые и эксклюзивные технологии Aegis, что не приводит к повышению нагрузки на серверы с увеличением количества таких панелей на заводе. Пользователи могут создавать неограниченное количество отчетов собственного дизайна. Это так же просто, как создать слайд в Power Point, дополнив его различными элементами и данными. Панели могут содержать разно-



информацию о процессе изготовления партии изделий, можно оценить стабильность производственного процесса одного заказа или производства в целом. С помощью диаграммы Парето анализируется и определяется процентное значение самого высокого показателя — например, наиболее частый дефект, выявленный при визуальном контроле.

**Вывод на мобильные устройства**

Благодаря системе InSite можно превратить смартфон или планшет в мобильный портал для вывода подробной производственной информации. Этот мощный инструмент, который предназначен для инженеров, производственных руководителей, менеджеров проектов, управляющих предприятием и исполнительного руководства, обеспечивает быстрый и легкий доступ к необходимым данным.

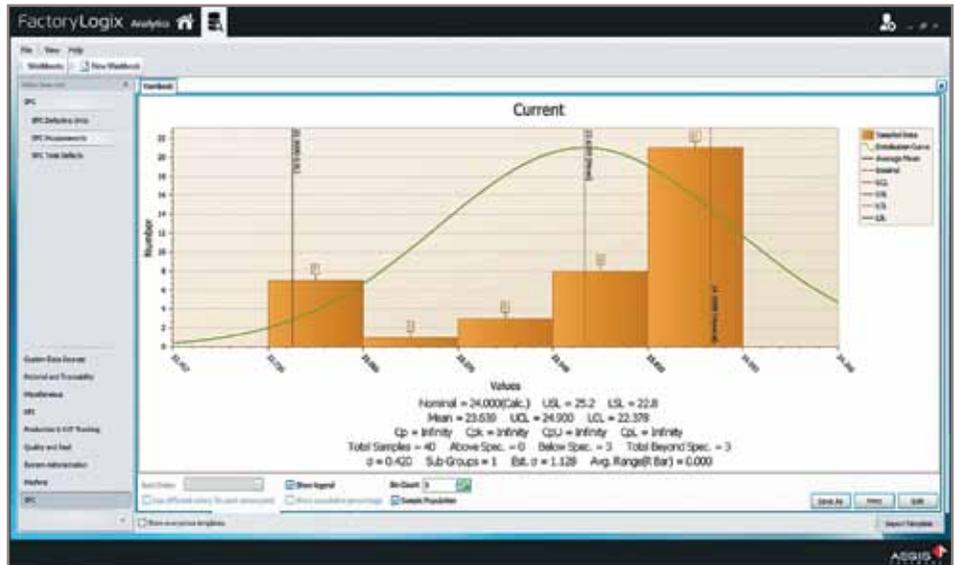


Рис. 5. Гистограмма статистического управления процессом

## Курс «Работа с САПР Altium Designer» в Москве

Учебно-консультационный центр НПП «Родник» с 24 по 28 августа 2015 года приглашает специалистов принять участие в проведении курса «Работа с САПР Altium Designer. Проектирование и конструирование электронной аппаратуры». Ведущий — технический эксперт НПП «Родник» Егор Павлович Чириков.

Занятия рассчитаны как на разработчиков и конструкторов печатных плат, начинающих осваивать Altium Designer, так и на пользователей, уже имеющих опыт работы с данной системой. В процессе обучения слушатели изучат все стадии проектирования электронных устройств в САПР Altium Designer, ознакомятся с особенностями ведения библиотечных баз на крупных предприятиях, а также смогут создать проект печатной платы с нуля. Особое внимание уделяется во-

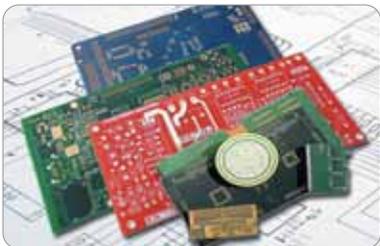
просам, вызывающим наибольшие трудности при самостоятельном изучении: оформлению конструкторской документации в соответствии с ЕСКД, импорту проектов и библиотек из старых версий систем OrCAD и P-CAD 200x и т. д.

Слушатели курса получают ответы на вопросы, касающиеся не только работы с программой Altium Designer, но и по смежным направлениям в области автоматизированного проектирования. По завершении обучения выдается Свидетельство НПП «Родник», предоставляющее право на бесплатные двухгодичные консультации по данной тематике.

Узнать подробности о мероприятии и ознакомиться с программой занятий можно на сайте НПП «Родник» [www.rodnik.ru](http://www.rodnik.ru).



на алюминии  
на фторопласте  
на керамике  
на полиимиде  
на стеклотекстолите



прототипы печатных плат  
суперсрочное изготовление  
серийное производство  
комплектация  
SMT и DIP монтаж  
монтаж BGA



Специализированный завод печатных плат  
«Электроконнект»  
[www.pselectro.ru](http://www.pselectro.ru)



## СРОЧНЫЕ ПЛАТЫ Любая партия от 2-х дней!



Москва (495) 787-65-01 Санкт-Петербург (812) 640-50-98 Ростов-на-Дону (863) 210-21-81 Пермь (342) 299-99-71 Екатеринбург (343) 235-01-26 Новосибирск (383) 336-10-01 Мінск (017) 222-91-79

# Воплощая идеи: автоматизированные решения компании ASYS

**Автоматизация производства служит основной движущей силой технического прогресса. Степень автоматизации определяет конкурентоспособность бизнеса через качество выпускаемой продукции, уровень производительности, эффективности использования основных ресурсов предприятия. Комплексный подход к автоматизации — залог успеха на конкурентном рынке. В его основе лежит выявление так называемых узких мест на производстве и их устранение путем автоматизации процессов. Внедрение программных продуктов управления производством, конвейерных систем, оборудования, выполняющего различные технологические операции, позволяет увеличить производительность, повысить эффективность использования пространства, рабочего времени, снизить количество дефектов.**

— А разве психология роботов так отличается от человеческой?  
— Огромная разница. — Она позволила себе холодно улыбнуться.  
— Прежде всего, роботы глубоко порядочны.

Айзек Азимов. Я, робот

**Денис Кулицкий**

lines@ostec-group.ru

**Немного об истории автоматизации**

Начиная с древнейших времен человек всегда стремился облегчить свой труд — так появились первые орудия труда, колесо, а затем и первые механические станки.

С изобретения паровой машины началась первая индустриальная революция, определившая новый уровень развития. Увеличилась производительность труда, улучшилось качество, стали доступны возможности, немислимые прежде. Затем были вторая и третья революции, связанные с открытием электричества и изобретением ЭВМ, — началась эпоха автоматизации. Человек уже не создавал предметы и ценности своими руками, а все больше контролировал и управлял процессом. Сейчас трудно себе представить отрасль промышленности, не имеющую тех или иных элементов автоматизации. Развитие се-

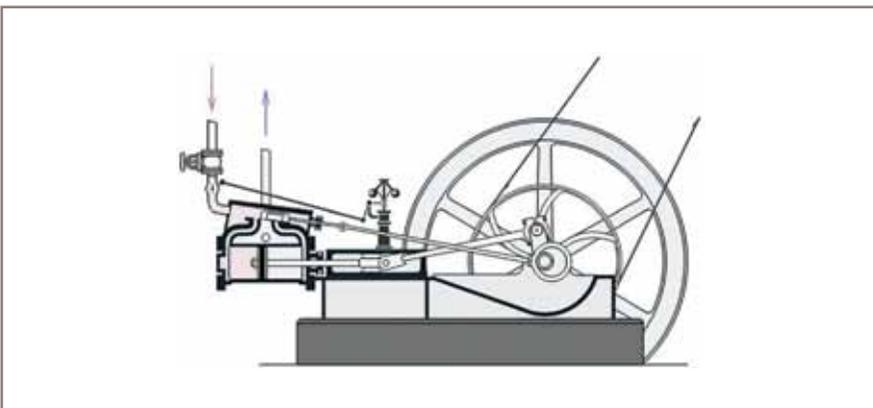
тевых технологий и коммуникаций, проникновение Интернета во все сферы деятельности человека ознаменовало наступление четвертой индустриальной революции, о которой было заявлено на Ганноверской промышленной ярмарке в апреле 2013 года.

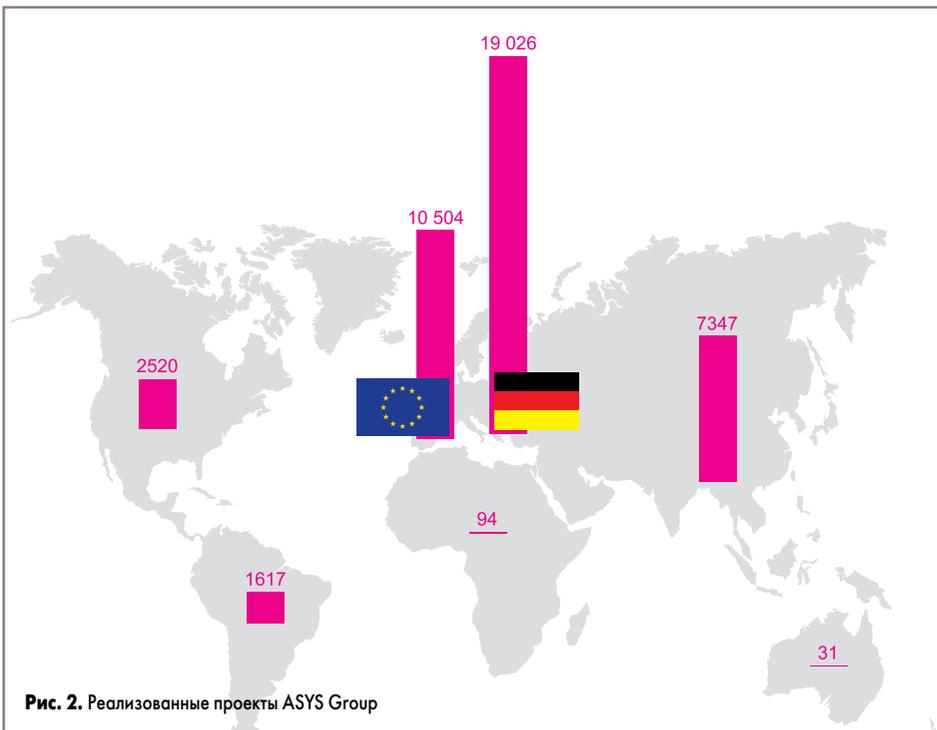
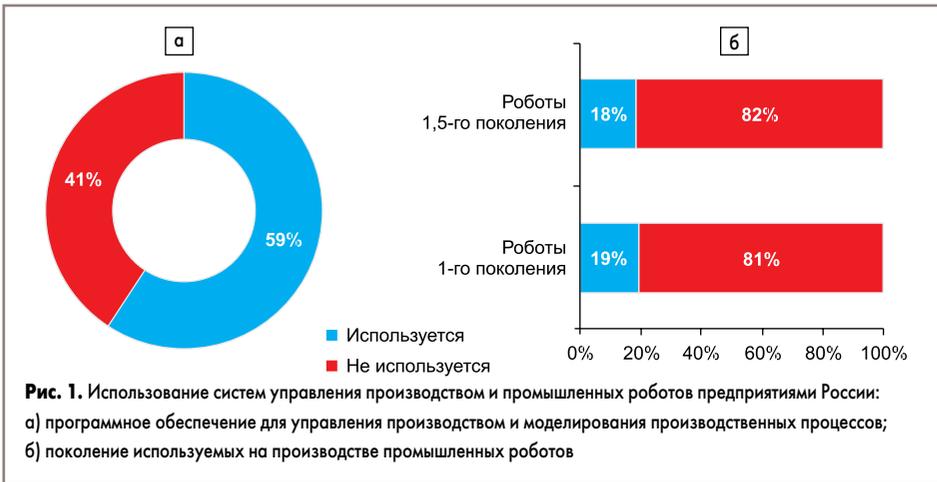
**Виды автоматизации**

Различают частичную, комплексную и полную автоматизацию.

При частичной автоматизации некоторые функции по управлению производством автоматизированы, а некоторые выполняются рабочими-операторами (полуавтоматические комплексы). Как правило, такая автоматизация требуется в случаях, когда управление процессами из-за их сложности или скоротечности человеку практически недоступно или нецелесообразно, например автоматические загрузки и разгрузки печатных плат в специализированную тару.

Комплексная автоматизация предполагает, что все функции по управлению автоматизированы, рабочие-операторы только настраивают технику и контролируют ее работу (автоматические комплексы). При комплексной автоматизации должна использоваться такая система машин, оборудования и вспомогательной техники, при которой процесс превращения исходного материала в готовый продукт происходит без физического вмешательства человека. Примером комплексно-автоматизированного производства может служить производство подшипников качения, где изготовление, начиная от заготовки и заканчивая контролем и упаковкой, выполняется комплексом оборудования.





При комплексной автоматизации обеспечивается возможность непрерывной работы в едином потоке. Отпадает потребность в промежуточных складах, сокращается длительность цикла производства, упрощаются планирование и учет выпускаемой продукции. Здесь наиболее полно и эффективно сочетаются два принципа: автоматизация и непрерывность производственного процесса. Комплексная автоматизация производства — действенное средство увеличения производительности труда, повышения качества продукции, снижения себестоимости.

Полная автоматизация производства — это высшая ступень автоматизации, которая предусматривает передачу всех функций управления и контроля автоматическим системам управления.

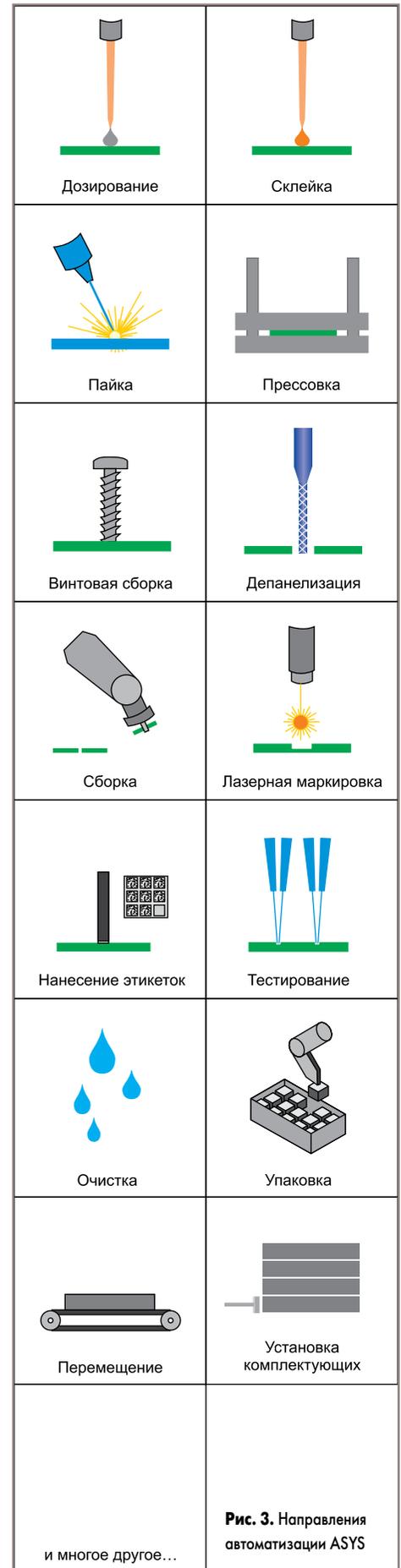
Автоматизация производства в машиностроении и радиоэлектронном приборостроении развивается в направлении создания автоматизированных и автоматических станков и агрегатов, поточных линий, участков, цехов и даже заводов.

Что мы видим сейчас на российском рынке? Результаты опроса отечественных

промышленных компаний, представленного в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации на долгосрочную перспективу», организованного Минпромторгом, показали, что, хотя большинство предприятий использует программное обеспечение для управления производством, обычно речь идет об ERP-системах, которые имеют весьма опосредованное отношение к производству. Еще хуже ситуация с промышленными роботами — они используются менее чем на трети опрошенных предприятий (рис. 1).

В рамках комплексного и системного подхода к автоматизации ГК Остек заключила партнерское соглашение с группой компаний ASYS, работающей на рынке автоматизации с 1992 года. На сегодня компания имеет 10 различных направлений деятельности, 12 представительства в различных странах и более 40 000 реализованных проектов по всему миру (рис. 2).

Компания ASYS предлагает многочисленные решения по автоматизации производственных процессов, такие как винтовая и финишная сборка, упаковка, разделение групповых заго-



товок, внутри- и межцеховая логистика, функциональный и электрический контроль, маркирование, этикетирование и другие (рис. 3). Поговорим о некоторых направлениях более подробно.



Рис. 4. Система разделения групповых заготовок DIVISIO 1000



Рис. 5. Система разделения групповых заготовок DIVISIO 2000 ERGO

#### Системы разделения групповых заготовок DIVISIO

Группа компаний ASYS поставляет на рынок универсальные автоматизированные решения для разделения групповых заготовок: DIVISIO 1000 и DIVISIO 2000 ERGO. DIVISIO 1000 — это полуавтоматическая установка, позволяющая исключить механическое воздействие на печатную плату при разделении заготовки (рис. 4). Особенно это актуально в тех случаях, когда заготовка выполнена не с помощью скрайбирования, а технологическими перемычками, которые приходится вручную выламывать, обрабатывать слесарным инструментом.

Установка DIVISIO 2000 ERGO — универсальный автомат для разделения групповых заготовок (рис. 5). В отличие от DIVISIO 1000 может быть оснащен двумя различными модулями разделения: прецизионной фрезерной головкой и высокоскоростной дисковой пилой. Использование специализированного инструмента с алмазным напылением обеспечивает высокое качество обработки поверхности и износостойкость инструмента. Кроме того, система DIVISIO 2000 поставляется и в исполнении DIVISIO 2100, где обрабатывающий инструмент может располагаться с верхней и нижней стороны мультиплицированной заготовки печатных плат:

- габариты рабочей области: 360–460 мм;
- толщина заготовки: 0,5–4,5 мм;
- масса заготовки: до 4,5 кг;
- максимальное ускорение: XY — 20 мм/с, Z — 15 мм/с;

- точность позиционирования: 0,01 мм;
- точность обработки: до 0,08 мм при использовании видеоцентрирования;
- повторяемость: 0,005 мм.

Все установки способны обрабатывать печатные заготовки толщиной от 0,5 до 4,5 мм и весом до 4,5 кг, оснащены камерой высокого разрешения для распознавания реперных знаков, системой вакуумной очистки заготовки от пыли, а также специализированной оснасткой, позволяющей сократить время переналадки и организовать параллельно обработку изделия и подготовку очередной заготовки.

#### Нанесение этикеток и лазерная маркировка. Модули INSIGNUM LABEL и INSIGNUM LASER

В настоящее время организация современного высокотехнологичного производства немислима без формирования единого информационного пространства предприятия и создания прослеживаемости выпускаемой продукции. Нанесение идентификационных меток является основой и первым шагом к прослеживаемости и формированию прозрачности всех протекающих производственных и бизнес-процессов на предприятии. Для решения этой задачи группа компаний ASYS предлагает следующие варианты автоматизации.

Установки семейства INSIGNUM LABEL (рис. 6) предназначены для нанесения этикеток на различные изделия, узлы и сборочные единицы. Они оснащены принтером этикеток, системой технического зрения для считывания реперных знаков, а также контроля правильности наклейки этикеток. Рабочая область позволяет обрабатывать изделия размером до 460×460 мм толщиной до 4,5 мм и массой до 3 кг. Трехосевое устройство захвата этикеток оснащено системой быстрой смены инструмента и позволяет выполнять операцию в любой плоскости относительно обрабатываемого изделия.

Лазерная маркировка применяется, когда размер наносимого изображения очень мал, проводится высокотемпературная или химическая



Рис. 6. Модуль INSIGNUM LABEL 3000

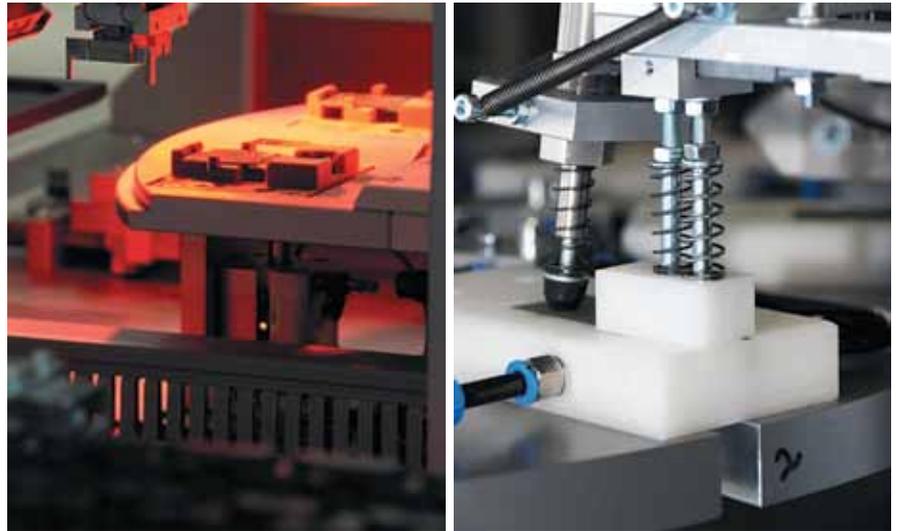


**Рис. 7.** Установка лазерной маркировки изделий INSIGNUM LASER 2000 TWIN

обработка изделия. В этом случае ASYS предлагает использовать установку INSIGNUM LASER (рис. 7). Семейство INSIGNUM LASER состоит из пяти установок, различающихся габаритами, размерами рабочей зоны, мощностью лазерной установки:

- две установки лазерного излучения сверху и снизу транспортировочного конвейера;
- встроенная камера высокого разрешения для распознавания реперных знаков и контроля качества нанесения маркировки;
- встроенная система очистки поверхности изделия после обработки лазером;
- использование специализированной системы зеркал увеличивает площадь покрытия лазерным лучом до 350×350 мм;
- минимальная ширина луча и, как следствие, минимальный размер точки составляет 0,195 мм.

Наиболее интересная модель — INSIGNUM LASER 2000 TWIN. Особенностью данного оборудования являются две установки лазерного излучения, расположенные сверху и снизу от конвейера, что позволяет одновременно наносить маркировку на две стороны обрабатываемого изделия, например на TOP- и BOT-сторону печатной платы. Это существенно экономит время и повышает эффективность выполнения данной технологической операции.



**Рис. 8.** Модульные системы ASYS INVENTUS



**Рис. 9.** Модульная ячейка ASYS Assembly Cell

**Модульные системы INVENTUS**

В основе всего предлагаемого оборудования (рис. 8) лежит модульная ячейка ASYS Assembly Cell (рис. 9), доступная в трех различных исполнениях по размеру: 800, 1000 и 1200 мм в длину.

Отличие модулей — масштабируемость и возможность максимально подстроиться под особенности технологического процесса. Гибкая платформа и габариты позволяют разместить на ней различные механизмы обработки изделия: многокоординатный манипулятор для сборки или упаковки, маркиров-



Рис. 10. Объединение нескольких модулей INVENTUS в линию



Рис. 11. Конвейерные системы ASYS TECTON MOTUS

щик для нанесения штрихкода, систему разделения групповых заготовок или систему электрического или функционального контроля. Исполняемые модули могут быть как обособленными единицами, так и встраиваться в конвейер для обеспечения высокой производительности и эффективности (рис. 10). Модули оснащены системой технического зрения с камерой высокой четкости, что позволяет качественно позиционировать обрабатываемое изделие в рабочей зоне, контролировать ход выполнения операции.

Перемещение рабочих узлов и механизмов происходит при помощи сервомоторов с ШВП, что обеспечивает высокую точность и повторяемость перемещений. Огромный перечень опций, реализуемых в устройстве, предоставляет возможность расширить набор выполняемых функций, например добавить встраиваемый модуль одно- или двухстороннего внутриплатного или функционального тестирования. Пользовательский интерфейс, выполненный на базе ОС Windows, поддерживает удобную работу с оборудованием как в режиме отладки, так и в режиме управления.

### Конвейеры TECTON MOTUS

Без применения различных конвейерных систем невозможно обеспечить автоматизацию перемещений (рис. 11). На предприятиях изделия перемещаются из цеха в цех бесчисленное количество раз, что отнимает значительную часть времени. Также производство сталкивается с проблемой отсутствия площадей для размещения дополнительных рабочих мест и сохранения пространства для внутри- и межцеховой транспортировки.

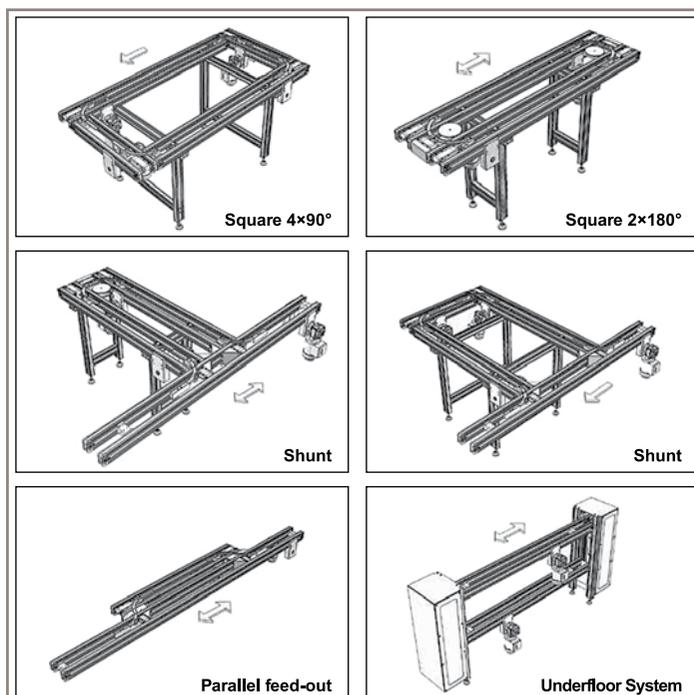


Рис. 12. Ячейки конвейеров ASYS TECTON

Конвейеры ASYS позволяют организовать не только эффективное перемещение того или иного изделия из точки А в точку В, но и целую логистическую многоуровневую интеллектуальную систему, учитывающую и технологический маршрут, и загруженность транспортировочной линии. Для этого используются транспортеры:

- различной ширины: 160, 240 и 320 м;
- различной скорости перемещения: до 15 м/мин;
- стыковочные модули и секции для разворота конвейера на 90 и 180°;

- разветвления на два-три параллельных конвейера и т.д.

Все узлы конвейеров выполнены из анодированного алюминиевого профиля, устойчивого к агрессивным факторам производственной среды, что позволяет использовать их во всех отраслях промышленности (рис. 12).

И это лишь немногие решения, предлагаемые компанией ASYS. В процессе реализации индивидуального проекта автоматы можно дооснащать различными модулями, объединять в системы и линии, учитывая все особенности производства и пожелания заказчика.

Только комплексный и системный подход к организации производства может обеспечить гибкость, вариантность, высокую экономическую привлекательность и устойчивость развития бизнеса в условиях современного конкурентного рынка. Применение передовых технологий, принципов и опыта работы мировых лидеров машиностроения и автоматизации необходимо для достижения целевых показателей качества, производительности и эффективности «предприятия, ориентированного на будущее».

## Шкафы сухого хранения ГК «ДИАЛ»

Производством ГК «ДИАЛ» выполнены очередная поставка и ввод в эксплуатацию шкафов сухого хранения серии Sahara B420-900. Оборудование установлено и введено в эксплуатацию на одном из предприятий Тамбова. Данная продукция выпускается производством ООО «ДИАЛ-РЭМ» с 2013 года. За два года шкафы сухого хранения получили новые конструктивные особенности, управление и дизайн. С конца 2014-го изделиям присвоено название Sahara и начато их серийное изготовление. В серию Sahara также входят сушильные шкафы с принудительной конвекцией.

Серия Sahara оснащена как стандартной комплектацией, так и по техническому заданию конкретного заказчика (аукционной документации). В течение двух лет производством ООО «ДИАЛ-



РЭМ» произведено и успешно введено в эксплуатацию несколько десятков шкафов серии Sahara. Наибольшим спросом данная продукция стала

пользоваться у отечественных изготовителей электроники со второй половины 2014 года.

[www.dialsmt.ru](http://www.dialsmt.ru)

**Komponenta**  
Группа компаний

От идеи до устройства!

ЗАО «Компонента»  
+7 (495) 133-04-85  
ООО «Оптима»  
+7 (495) 645-74-04

[www.komponenta.ru](http://www.komponenta.ru)  
[info@komponenta.ru](mailto:info@komponenta.ru)



### ГРУППА КОМПАНИЙ «КОМПОНЕНТА» ПРЕДЛАГАЕТ УСЛУГИ КОНТРАКТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОНИКИ:

- Поставка и монтаж печатных плат
- Сборка узлов и блоков
- Изготовление корпусных деталей
- Изготовление экранов печатных плат
- Изготовление силовой электроники
- Проектирование топологии печатных плат
- Изготовление жгутов проводов
- SMD и ручной монтаж

Наша компания обладает всем необходимым оборудованием для выпуска как малых партий печатных плат, электроники и образцов продукции, так и для серийного, и массового больших объемов.

Наши три ультрасовременные линии расположены в Московской области (г. Обнинск).

# Автоматизированный монтаж кристаллов силовых диодов

**В статье приведен сравнительный анализ бессвинцовых припоев и предложен выбор паяльной пасты для монтажа кристаллов силовых диодов. На базе автомата присоединения кристаллов ЭМ-4085 разработан автомат сборки силовых выпрямительных диодов с автоматическим дозированием паяльной пасты и установлены оптимальные параметры автоматизированного монтажа кристаллов силовых диодов.**

**Дмитрий Барбарчук  
Владимир Ланин  
Святослав Школык  
Алексей Хасьянов**

## Введение

В выпрямителях бортовых генераторов переменного тока автотранспортных средств (АТС) используются силовые выпрямительные и лавинные выпрямительные диоды. Вторые имеют на обратной ветви вольт-амперной характеристики участок лавинного пробоя, обеспечивающий ограничение обратного напряжения на диоде на уровне напряжения лавинного пробоя в течение ограниченного промежутка времени. Выпрямительные блоки, выполненные на лавинных диодах, создают защиту для бортовой сети АТС (электронные системы управления двигательной установкой, АБС, диагностики, сигнализации и др.) от переходных процессов, вызываемых функционированием мощных потребителей в этой сети. Энергия переходных процессов достаточно велика и в худшем случае может достигать мощности генераторной установки. Вот почему диоды, используемые в выпрямителях бортовых генераторных установок, должны быть достаточно мощными и выдерживать импульсные нагрузки, многократно превышающие номинальные режимы.

Современные требования к надежности электронных компонентов генераторных установок допускают уровень отказов не более 100 ppm (100 отказов на 1 млн находящихся в эксплуатации компонентов, например выпрямительных блоков) в гарантийный период (включая процесс производства генераторов и автомобиля). Это чрезвычайно жесткие требования.

Надежность силовых выпрямительных диодов определяется качеством и исправностью не только полупроводникового кристалла, но и сборки диода. Монтаж кристаллов при изготовлении силовых диодов должен обеспечить высокую механическую прочность соединений корпус-кристалл, кристалл-вывод при температурных и механических воздействиях, а также низкое тепловое и электрическое сопротивление.

Сегодня назрела необходимость создания оборудования автоматизированного монтажа кристаллов, отвечающего современным требованиям надежности, и разработка такого оборудования позволяет обе-

спечить прецизионное присоединение кристаллов с необходимой точностью и надлежащим качеством.

## Анализ факторов, влияющих на процесс сборки диодов

Силовые диоды в выпрямительных блоках генераторных установок АТС обычно монтируются в полюсные пластины выпрямителя путем запрессовки, что обеспечивает хороший отвод тепла от корпуса диода и низкое электрическое сопротивление соединения корпуса и полюсной пластины.

В связи с этим диоды должны допускать запрессовку в отверстия полюсной пластины (теплоотвода) с усилием до 5000 Н с натягом, достаточным для обеспечения усилия выпрессовки не менее 600 Н. Вывод диода должен выдерживать воздействие растягивающей силы, направленной вдоль оси вывода, величиной 20 Н.

Диод должен выдерживать не менее 4000 циклов изменения температуры корпуса от +40 до +125 °С (до +165 °С *p-n*-перехода) за счет разогрева протекающим циклическим током и воздействие механических факторов согласно ГОСТ 20859.1, номенклатура и значение которых приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Требования к механическим факторам**

Воздействующий фактор и его характеристики	Значение
Синусоидальная вибрация с параметрами: диапазон частот, Гц амплитуда ускорения, $m/s^2$ амплитуда перемещения для частоты перехода 50 Гц, мм	10–2000 400 2
Механический удар многократного действия с параметрами: ударное ускорение, $m/s^2$ длительность действия ударного ускорения, мс	450 6

В соответствии с требованиями ГОСТ 20859.1 диод должен быть стойким к воздействию климатических факторов, номенклатура и значение которых приведены в таблице 2, а также к влиянию топливно-смазочных материалов, соляного тумана и к плесневым грибам. Вероятность безотказного функционирования за время наработки в течение 10 000 ч не менее 0,99. Гамма-процентный срок службы диода при  $\gamma = 90\%$  не менее 10 лет.

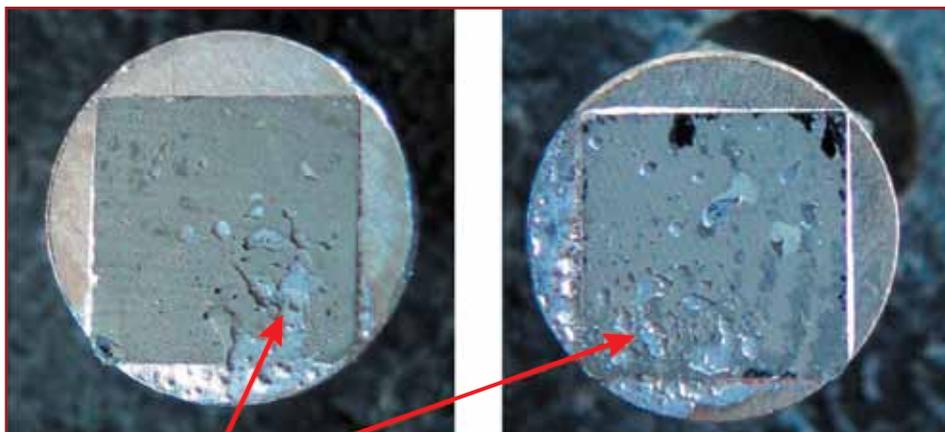
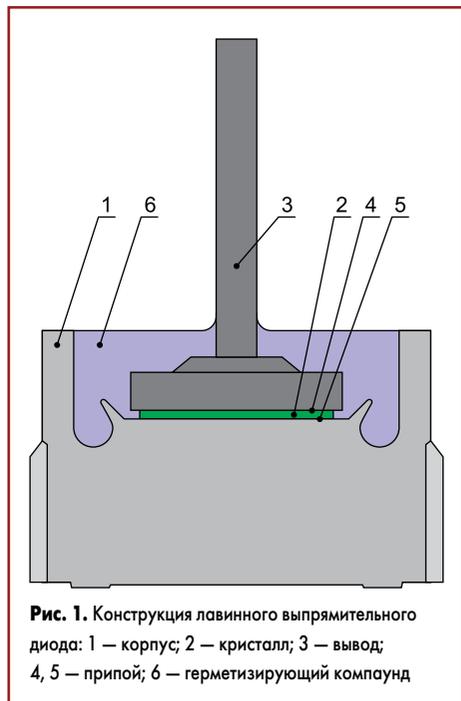
Таблица 2. Требования к климатическим факторам

Воздействующий фактор и его характеристики	Значение характеристики
Атмосферное пониженное давление, рабочее, кПа	56
Повышенная температура среды, °С: – рабочая, не менее – предельная	+150 +175
Пониженная температура среды, °С: – рабочая – предельная	-50 -60
Повышенная предельная температура корпуса силового диода, °С	+165
Смена температур, °С: – от повышенной предельной температуры корпуса регулятора – до пониженной предельной температуры среды	+165 -60
Повышенная относительная влажность при температуре окружающей среды +35 °С, %	98

Диоды должны выдерживать максимально допустимый средний прямой ток 25–45 А, импульсное прямое напряжение не более 1,25 В, ударный неповторяющийся ток не менее 300–400 А и иметь тепловое сопротивление переход-корпус 0,6–0,9 °С/Вт.

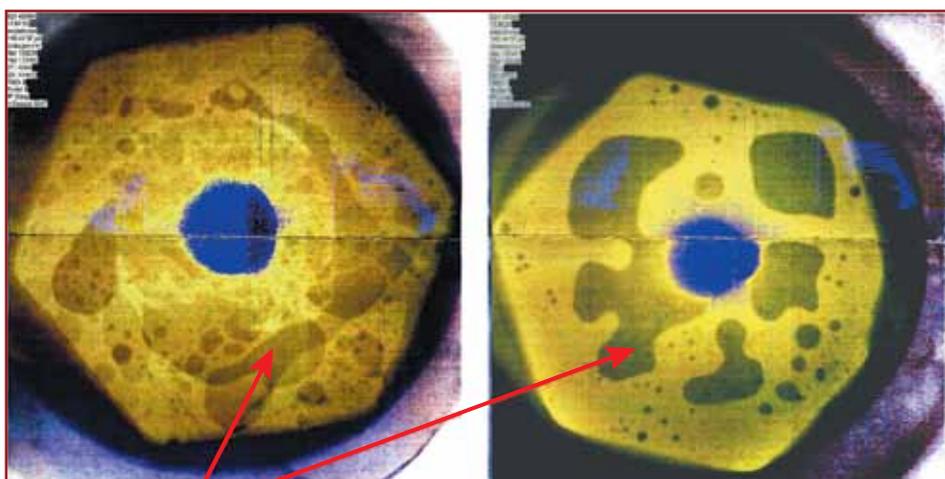
Диод состоит из корпуса, вывода и полупроводникового кристалла (рис. 1). Корпус изготовлен из прутка диаметром 12 мм медного сплава М1 холодной штамповки. Корпус и вывод имеют никелевое покрытие (5–7 мкм), нанесенное гальваническим способом. Для монтажа полупроводникового кристалла корпус имеет тарельчатую площадку. Полупроводниковый кристалл монтируется в корпус пайкой. Вывод монтируется на верхнюю поверхность кристалла пайкой. После сборки арматуры диода внутренняя полость корпуса заполняется заливочным компаундом, который обеспечивает герметизацию диода и дополнительное механическое закрепление вывода.

В настоящее время сборка силовых выпрямительных и силовых лавинных выпрямительных диодов базируется на ручной сборке элементов арматуры диода в групповые кас-



Дефекты паяного шва

Рис. 2. Вид паяного шва кристалл-вывод годных по электрическим параметрам и выдержавших испытание на устойчивость к воздействию растягивающих усилий 20 Н арматур диода



Зоны непроая

Рис. 3. Рентгенограммы паяных соединений диодов

сеты и групповой кассетной пайке арматур в туннельных печах в среде водорода. Однако такой способ не обеспечивает высокой плотности и надежного паяного шва даже у диодов, удовлетворяющих требованиям к электрическим параметрам (рис. 2). Наличие подобных дефектов выявляют и с помощью рентгеновского излучения (рис. 3).

Практика показывает, что даже при плотности паяных швов, достигающих 75%, при проведении приемо-сдаточных испытаний (ПСИ) диод имеет значения электрических параметров, удовлетворяющие требованиям технических условий. Показатели надежности при проведении ПСИ оценить практически невозможно, в связи с этим существует вероятность отказа в процессе эксплуатации.

**Выбор типа бессвинцовых припоев**

Принятие директивы Совета Европы по экологической безопасности RoHS (ограничение на использование опасных веществ) стало причиной многих проблем для фирм, занимающихся процессами пайки в электронике традиционными методами с использованием свинцовых припоев, поскольку на европейском рынке свинец запрещен к применению

в электронном оборудовании начиная с июля 2006 года [1].

Теплопроводность паяных соединений в значительной степени определяется теплопроводностью припоя, особенно при его слабом химическом сродстве с паяемым металлом. В случае образования между ними твердых растворов теплопроводность паяных соединений может снижаться по сравнению с теплопроводностью припоя. Теплопроводность припоев и паяных соединений является важным параметром для силовых полупроводниковых приборов, в которых интенсивный теплообмен служит определяющей характеристикой надежности. Особенно важна высокая теплопроводность припоев с целью обеспечения высокого качества паяных соединений для деталей с различными коэффициентами теплопроводности, например кремниевого кристалла с медным корпусом. Качество припоя зависит от доли вредных примесей в сплаве, которые снижают прочность паяного соединения.

При выборе припоя следует учитывать растворимость компонентов основного металла в расплавленном припое, так как в процессе пайки его состав и температура плавления могут существенно изменяться — это приво-



**Рис. 4.** Внешний вид растекания припоя 87–89Sn/9–11Bi/0,8–1,2Sb (вес. %) по серебряному покрытию кристалла (1) и по никелевому покрытию корпуса (2) при нагреве в различных средах: а) в водороде; б) в формир-газе; в) в вакууме

дит к тому, что припой или не заполнит зазор, или будет растворять основной металл [2]. Оценка вариантов бессвинцовой технологии сборки должна проводиться по следующим критериям [3]: способность к пайке, надежность паяных соединений, чувствительность к образованию нитевидных кристаллов, совместимость процессов пайки без свинца и пайки припоем Sn-Pb, переходное сопротивление контактов, коррозионное истирание, коэффициент трения, технология нанесения покрытия, стоимость. При разработке паяных конструкций в силовых приборах принимают во внимание физико-механические свойства припоев и их совместимость их с паяемыми покрытиями: температуру плавления, пределы прочности на растяжение, срез, предел текучести, относительное удлинение, модуль упругости, температурный коэффициент линейного расширения, коэффициент теплопроводности, удельное электросопротивление и т. д.

Два бессвинцовых сплава достаточно исследованы с точки зрения их использования на операции напайки кристаллов в изделиях микроэлектроники. Сплав 96,2Sn/2,5Ag/0,8Cu/0,5Sb, получивший название CASTIN, имеет температуру плавления +215...+217 °С. Он легирован сурьмой, что заметно улучшает его свойства, а именно в нем не растут кристаллы интерметаллических соединений при температуре

до +125 °С. Известно, что в соответствии с требованиями военных стандартов Sb добавляется в количестве 0,2–0,5% в оловянно-свинцовые припои для улучшения их стойкости при термоциклировании [4].

Эвтектический сплав 96,5Sn/3,5Ag с температурой плавления +221 °С при испытаниях на термоциклирование показал более высокую надежность по сравнению с Sn/Pb. Данный припой годы применяется в специальной аппаратуре и имеет более высокую смачиваемость по сравнению с Sn/Pb.

Способность паяемых покрытий при режимах пайки смачиваться припоем определяет качество пайки. Смачиваемость покрытий припоем относится к технологическим факторам, позволяющим проводить экспресс-анализ пайки как способа соединения элементов. Проведен анализ растекания бессвинцовых припоев по никелевым покрытиям корпусов и серебряным покрытиям кристаллов. Лучшие результаты смачивания при температурах нагрева в различных средах показал припой состава (вес. %) 87–89Sn/9–11Bi/0,8–1,2Sb. Смачивание и растекание данного припоя по паяемым поверхностям кристалла и корпуса хорошее (Кр составляет 1,1–1,15) в водороде, формир-газе (смесь газов H<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> в соотношении 15:85) и вакууме. Содержание в припое 87–89% олова обеспечивает высокий

коэффициент теплопроводности и хорошую смачиваемость покрытий кристалла и основания корпуса; 9–11% висмута снижает температуру плавления припоя до +230...+240 °С; 0,8–1,2% сурьмы улучшает сопротивление сплава термической усталости.

При анализе растекания припоев по различным покрытиям отмечены участки, не смачиваемые припоем, что свидетельствует о плохом качестве подготовки поверхности перед пайкой (рис. 4, образцы 2б, в). Такое явление недопустимо при пайке кристаллов к основаниям корпусов в производстве силовых приборов, когда площадь спая должна быть не менее 95% от площади кристалла. Наличие зазора или пустот между кристаллом и поверхностью, на которую он крепится, при эксплуатации приводит к увеличению температуры активной части полупроводниковой структуры и в конечном итоге к ухудшению электрических характеристик.

Для пайки силовых диодов выбрана бессвинцовая паяльная паста 798LF, содержащая флюс, разработанный специально для высокотемпературных процессов поверхностного монтажа в воздушной среде. Остатки флюса удаляются после пайки теплой деионизированной водой.

#### Автоматизированный монтаж кристаллов

Операция присоединения кристаллов наряду с операцией монтажа выводов является наиболее трудоемкой в сборочном цикле производства полупроводниковых приборов, в том числе и интегральных схем. В современных автоматах присоединения кристаллов кристалл захватывается инструментом с адгезионного носителя или из кассеты, переносится на позицию присоединения и присоединяется с помощью вибрации или без нее, с нагревом или без, в зависимости от назначения приборов [5].

Метод присоединения кристаллов на легкоплавкий припой обеспечивает высокие тепло- и электропроводность соединений, механическую прочность, хорошее согласование по ТКЛР, а при необходимости и демонтаж кристаллов. В этом случае наблюдается низкое тепловое сопротивление между кристаллом и держателем и вследствие низких механических напряжений повышается устойчивость работы изделий при циклических теплосменах. В то же время относительно низкая температура плавления припоев ограничивает технологическую температуру на последующих операциях присоединения выводов и герметизации корпуса. Благодаря высокой теплопроводности и малой теплоемкости припоев время для плавления и получения соединения достаточно мало, что делает целесообразным выполнение этих операций с высоким уровнем автоматизации.

Процесс монтажа кристаллов состоит в автоматизированном размещении кристалла (с использованием вибрации инструмента) на дозированной капле жидкого припоя на кристаллодержателе (выводная рамка), которая может быть получена дозированием проволочного припоя формированием капли.

**Таблица 3.** Техническая характеристика автомата сборки диодов

Производительность	650 присоединений/ч
Размеры присоединяемых кристаллов, мм	от 2×2 до 6×6
Диаметр обрабатываемых пластин, мм	до 100
Размер ячеистых кассет, мм	не более 90×90
Способ нанесения припоя	дозирование паяльной пасты
Погрешность присоединения кристаллов и выводов по координатам X, Y, мм	±0,20
Питание, В/Гц	230/50
Сжатый воздух	0,5–0,6 МПа, 1,4 м <sup>3</sup> /ч
Азот	0,28 МПа, 1 м <sup>3</sup> /ч
Вакуум с остаточным давлением, кПа	0,04
Потребляемая мощность, кВт	3,5
Габаритные размеры, мм	1900×1050×1950
Масса, кг	700

Кристаллодержатель (выводная рамка) транспортируется через нагреватель, где происходит контролируемый нагрев до +300...+450 °С. В зону монтажа кристаллов подается защитный формир-газ для снижения окисления припоя, контактной металлизации кристалла и кристаллодержателя.

Автоматизированный процесс монтажа кристаллов на припой на автомате присоединения кристаллов ЭМ-4085 обладает рядом особенностей, позволяющих осуществлять монтаж на выводные рамки из медного сплава, покрытые никелем. Нагреватель в автомате туннельного типа содержит 12 зон контролируемого и регулируемого нагрева до +450 °С; блок формирователя защитно-восстановительной атмосферы смешивает поступающие газы H<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> в смесь в соотношении 10–20% и 80–90% (формир-газ) для активирующего воздействия на процесс монтажа кристаллов.

Программно управляемый процесс монтажа кристаллов предусматривает автоматизированное размещение кристалла по заданной траектории с определенной амплитудой на дозированной капле жидкого припоя на кристаллодержателе (выводной рамке), которая может быть получена дозированием проволочного припоя. Кристаллодержатель (выводная рамка) транспортируется через нагреватель, где происходит контролируемый нагрев до +300...+400 °С. Описанный способ монтажа хорошо себя зарекомендовал многолетней эксплуатацией [6].

Однако для приборов, у которых в процессе сборки необходимо создать два паяных шва — основание-кристалл и кристалл-вывод, требуется два припоя с разницей температур плавления не менее 40 °С, чтобы обеспечить неподвижность кристалла при присоединении вывода. Это существенно усложняет и процесс сборки, и оборудование, позволяющее выполнять сборку в автоматическом режиме [7].

Отличие пайки с помощью паяльной пасты заключается в простоте ее нанесения и содержании флюса, который не только надежно очищает спаиваемые поверхности и припой, содержащийся в пасте, улучшая тем самым условия смачивания спаиваемых поверхностей расплавленным припоем, но и защищает их от окисления в процессе пайки. Кроме того, при использовании паяльных паст легче получить



**Рис. 5.** Автомат сборки диодов ЭМ-4085 Д1

два паяных шва: основание-кристалл и кристалл-вывод. Пайка обоих швов производится одновременно при одной и той же температуре. При пайке с применением паяльных паст не требуется восстановительная среда, достаточно защитной атмосферы — азота.

В автоматах сборки диодов ЭМ-4085Д и ЭМ-4085Д1 (рис. 5) вместо дозатора проволочного припоя установлены два пневматических дозатора паяльной пасты, позволяющих получать стабильные дозы пасты объемом от 0,5 до 5 мкл (табл. 3). Объем дозы пасты устанавливается в зависимости от размера (площади) кристалла, чтобы создать припойный шов необходимой толщины.

Опытным путем установлено, что при толщине шва 35–45 мкм обеспечиваются сплошность швов не хуже 95%; тепловое сопротивление для размера кристалла 4,2×4,2 мм не более 0,8 °С/Вт; импульсное прямое напряжение 1,06–1,14 В.

Пневматические дозаторы, примененные в автоматах ЭМ-4085Д и ЭМ-4085Д1, имеют программное управление временем дозирования, установкой зазора между дозирующей иглой и поверхностью кристалла, причем зазор устанавливается с помощью специального алгоритма поиска поверхности с последующим подъемом иглы на заданную высоту. Температура подогрева шприца с паяльной пастой и давление корректируются специальными регуляторами. Все это обеспечивает высокую точность и повторяемость дозирования.

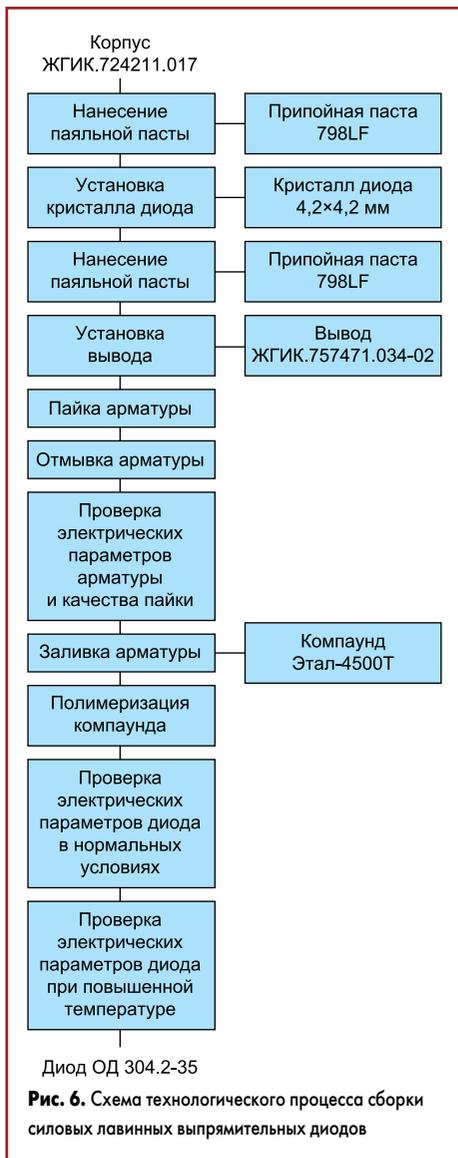
Для подбора режимов дозирования и пайки и оценки характеристик диодов, собранных с использованием паяльных паст, было изгото-

товлено несколько опытных партий диодов. Схема технологического процесса производства диодов приведена на рис. 6.

В центр монтажной площадки корпуса диода наносилась доза паяльной пасты пневматическим дозатором с диаметром канала 0,83 мм, при давлении 3 МПа, с длительностью импульса 300 мс. Вакуумным пинцетом с незначительным давлением кристаллы укладывались на паяльную пасту в центр монтажной площадки. Давление необходимо для горизонтального выравнивания поверхности кристалла, при этом выдавливание пасты из-под кристалла не допускалось. В центр полупроводникового кристалла наносилась доза паяльной пасты пневматическим дозатором с диаметром канала 0,83 мм, при давлении 0,3 МПа, с длительностью импульса 240 мс. С незначительным давлением вывод с помощью пинцета устанавливался в центр полупроводникового кристалла поверх дозы припоя, при этом выдавливание пасты из-под кристалла и вывода не допускалось.

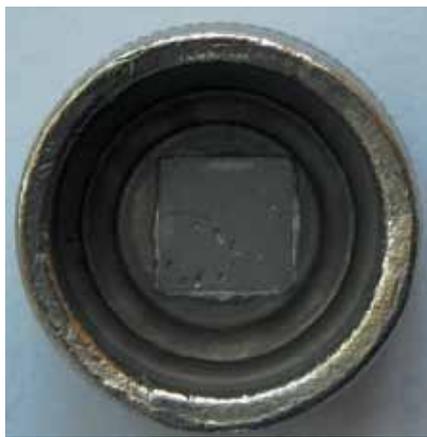
Установлены оптимальные режимы дозирования пасты 798LF для получения массы дозы припоя 5,3 мг: давление — 0,045 МПа, время дозирования на кристалл — 360 мс, время дозирования на вывод — 320 мс. Опытным путем уточнены режимы пайки арматур: температура на поверхности нагревательного столика +250 °С; время пайки 180 с.

После пайки арматуры снимались с нагревательного столика и устанавливались на теплоизолирующую подставку до охлаждения (8–10 мин). После охлаждения арматуры погружались в ванну с теплой (+40...+50 °С) де-



ионизированной водой для растворения остатков флюса на время 30–40 мин. Последующая отмывка арматуры производилась в ванне с теплой (+40...+50 °С) деионизированной водой в течение 25–30 мин с воздействием ультразвука. После извлечения из ванны арматуры продувались сжатым воздухом, а затем высушивались в тепловой камере при температуре +165 °С в течение 1,5 ч.

Заливка арматур выполнялась компаундом ЭТАЛ 4500Т вручную с использованием медицинских шприцев непосредственно после извлечения из тепловой камеры. После полимеризации компаунда проводилась проверка электрических параметров диодов. Сборка и проведенные исследования и испытания опытной партии диодов показали, что использование паяльных паст возможно для изготовления



**Рис. 7.** Паяные швы корпус-кристалл и кристалл-вывод



силовых диодов. Параметры и характеристики опытных диодов не уступают соответствующим параметрам и характеристикам диодов, изготавливаемых по существующей технологии.

Сплошность паяных швов, полученных с использованием паяльной пасты 798LF, увеличилась (рис. 7).

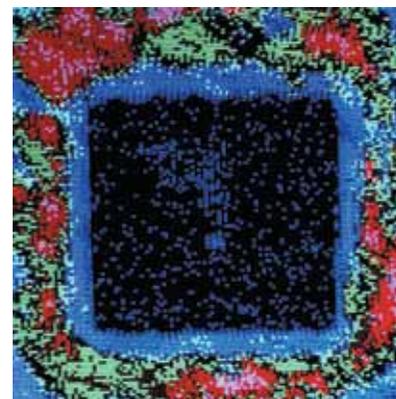
Дополнительно с помощью акусто-оптического метода проведена оценка сплошности паяного шва корпус-кристалл (рис. 8), которая показала, что шов обладает сплошностью на уровне 90–95%.

### Выводы

Разработан автоматизированный процесс монтажа кристаллов силовых диодов и установлены оптимальные режимы дозирования пасты и пайки. Проверка опытной партии показала, что параметры и характеристики диодов, пайкой монтируемых на пасту, не уступают соответствующим параметрам и характеристикам диодов, изготавливаемых по существующей технологии. Модернизация оборудования привела к повышению производительности процесса, улучшению качества изделий и экологической обстановки на производстве.

### Литература

1. Медведев А. Бессвинцовые технологии монтажной пайки. Что нас ожидает? // Электронные компоненты. 2004. № 11.
2. Ланин В. Л., Емельянов В. А. Электромонтажные соединения в электронике. Технологии, оборудование, контроль качества. Минск: Интегралполиграф, 2013.
3. Зенин В., Хишко О., Ткаченко А., Кастрюлев А., Бойко В. Разработка и исследование



**Рис. 8.** Фотограмма паяного шва корпус-кристалл

бессвинцовых припоев для пайки кристаллов силовых полупроводниковых приборов // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 8.

4. Зенин В., Рягузов А., Бойко В., Гальцев В., Фоменко Ю. Припой и покрытия для бессвинцовой пайки изделий микроэлектроники // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 5.
5. Зенин В. В., Ланин В. Л., Емельянов В. А. Монтаж кристаллов и внутренних выводов в производстве полупроводниковых изделий. Минск: Интегралполиграф, 2015.
6. Ануфриев Л., Ланин В., Керенцев А. Автоматизированный монтаж кристаллов транзисторов вибрационной пайкой // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 3.
7. Керенцев А., Ланин В., Турцевич А. Сборка силовых полупроводниковых приборов с бессвинцовой припойной композицией // Силовая электроника. 2008. № 2.

## Рекомендации по прессованию базовых материалов ISOLA

Компания «ПЕТРОКОММЕРЦ» сообщает, что на ее сайте появились рекомендуемые режимы прессования и механообработки для некоторых

материалов ISOLA. В настоящее время с сайта можно скачать рекомендации по прессованию ISOLA DE104 и ISOLA IS420. Рекомендации размещены

в разделе «Материалы» каталога предлагаемой компанией «ПЕТРОКОММЕРЦ» продукции.

[www.petrocom.ru](http://www.petrocom.ru)



**14-я Международная выставка**  
технологий, оборудования и материалов  
для производства изделий электронной  
и электротехнической промышленности



15-17 марта

**2016**

Москва, Крокус Экспо

**ВЗРАЩАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИИ**

Совместно с выставкой



Организаторы:



+7 (812) 380 6003/07/00  
electron@primexpo.ru

При содействии:



**Забронируйте стенд на сайте: [electrontechexpo.ru](http://electrontechexpo.ru)**



# Возьми курс на импортозамещение! SMT оборудование

Настольная печь  
конвекционного оплавления  
«ЭТНА» В211-АС311



Оптическая  
инспекция В510



Автоматический  
принтер трафаретной  
печати «Буран» В102



Конвейерная печь  
конвекционного оплавления  
«ЭТНА» В221-АС533



Москва

Чебоксары

Конвейерная печь  
конвекционного оплавления  
«ЭТНА» В221-АС421



Соединительный  
конвейер односегментный  
В010-1S-500



Соединительный  
конвейер двухсегментный  
В010-2S-1200



Ремонтный центр  
«Сириус» В301

Автоматический  
загрузчик плат в линию  
В024-1L-706



[sales@dialsmt.ru](mailto:sales@dialsmt.ru)



Телефон г. Брянск: +7(4832) 94-44-04, 94-44-10

Телефон г. Москва: +7(495) 777-03-27, 995-20-20



dialmovie



dialcompany

[www.dialsmt.ru](http://www.dialsmt.ru)