

Академия безопасности StarLine

АЗБУКА

РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СЕКРЕТОВ СТАБИЛЬНО ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

Информационно-справочное издание
для специалистов по сборке радиоэлектроники

Санкт-Петербург
2024 год

Академия безопасности StarLine

Авторы:

Темур Асрорович Аминджанов,
Антон Александрович Марков,
Ярослава Николаевна Рогозовец

АЗБУКА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СЕКРЕТОВ СТАБИЛЬНО ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

Информационно-справочное издание для специалистов по сборке радиоэлектроники / Т. А. Аминджанов, А. А. Марков, Я. Н. Рогозовец и др.; составитель Антон Александрович Марков; главный редактор Темур Асрорович Аминджанов [Академия безопасности StarLine]. — СПб.: ..., 2024. 351 с., ил.

ISBN

Цель коллективного труда инженеров и технологов Академии безопасности StarLine, а также коллег из ведущих российских и международных компаний — собрать воедино все рекомендации и правила при поэтапном изготовлении радиоэлектронной продукции для обеспечения высокого уровня качества выпускаемых изделий при крупносерийном производстве электроники разной степени сложности. Книга содержит описания терминов и определений, используемых в радиоэлектронной отрасли, поэтапного процесса создания радиоэлектронной продукции, сведения о правилах настройки оборудования и обеспечения высокого уровня качества выпускаемой электронной продукции. Книга написана доступным языком, с наглядными примерами и понятными иллюстрациями.

Выражаем благодарность авторскому коллективу НПО СтарЛайн и партнерам компании за внесенный вклад в составление книги, способствующей развитию радиоэлектронной отрасли России. Над книгой работали: Александр Викторович Лысенков, Алексей Игоревич Дудин, Виктор Владимирович Ефимов, Вячеслав Леонидович Рочев, Валерия Сергеевна Рева, Дмитрий Николаевич Шабанов, Екатерина Александровна Костяева, Евгения Сергеевна Низамова, Екатерина Сергеевна Чернышева, Екатерина Сергеевна Вожжова, Евгений Юрьевич Платов, Михаил Васильевич Вертепов, Сергей Анатольевич Смертьев, Николай Павлович Дмитриев, Мария Андреевна Котова.

Также благодарим сотрудников компаний-партнеров, которые своим трудом и высокопрофессиональной деятельностью способствовали рождению этого издания: Антон Маликович Кантер (ООО «Авантех»), Роман Валерьевич Порядин (ООО «Остек-Интегра»), Андрей Васильевич Рякин (ООО «Остек-Интегра»), Олег Николаевич Вахрушев (ООО «Глобал Инжиниринг»), Дмитрий Анатольевич Вдовинов (ООО «СМТтех»), Андрей Ильич Кучерявый (ООО «Резонит»), Алексей Олегович Лукин (сотрудник российского представительства Panasonic), Сергей Владимирович Ковалев (АО «Крафтвэй корпорэйшн ПЛС»), Алексей Сергеевич Ионов (ЗАО «НВП "Болид"»), Михаил Сергеевич Левчук (ЗАО «Аргус-Спектр»).

Предложения по улучшению издания присылайте, пожалуйста, на адрес **academy@starline.ru**.

Оглавление

Предисловие	9
Глава 1. Печатные платы	11
1.1 Что такое печатная плата?	12
1.2 Слои печатной платы	13
1.3 Маска и шелкография печатных плат	15
1.4 Финишное покрытие печатных плат	16
1.4.1 Горячее лужение (HASL)	16
1.4.2 Иммерсионное золочение с подслоем никеля (ENIG)	17
1.4.3 Иммерсионное серебрение (ImmAg)	18
1.4.4 Органическая защита (OSP)	18
1.4.5 Иммерсионное олово с подслоем органического металла (ImmSn)	19
1.5 Мультиплицирование единичных печатных плат	20
Глава 2. Маркировка печатных плат и узлов	23
2.1 Маркировка и прослеживаемость печатных плат	24
2.2 Оборудование и принцип работы	27
2.2.1 Правила расположения 2D-кода	28
2.3 Очистка мультизаготовок после лазерной маркировки	30
Глава 3. Пастопечать	33
3.1 Паяльная паста	34
3.1.1 Припой	35
3.1.2 Флюс	35
3.1.2.1 Состав флюса	36
3.1.2.2 Активность флюсов	39
3.1.2.3 Международная классификация флюсов	40
3.1.3 Классификация паяльных паст по типу сплава	41
3.1.4 Выбор паяльной пасты	43
3.1.5 Хранение паяльной пасты	43
3.2 Методы нанесения паяльной пасты	45
3.3 Подготовка принтера и рабочего инструмента	47
3.3.1 Конвейер для движения печатной платы (с регулировкой ширины между направляющими)	49
3.3.2 Координатный стол с внешней стороны направляющих	49
3.3.3 Подъемник печатной платы	49

3.3.4 Поддерживающие пины и бруски	50
3.3.5 Ракель	52
3.3.6 Модуль крепления ракеля	55
3.3.7 Трафарет	56
3.3.8 Рамка трафарета	56
3.3.9 Модуль очистки трафарета	58
3.3.10 Модуль распознавания печатной платы	60
3.4 Подготовка и использование паяльной пасты	61
3.4.1 Подготовка паяльной пасты	61
3.4.2 Использование паяльной пасты	62
3.5 Настраиваемые параметры принтера пастопечати (Panasonic SPG)	64
3.5.1 Давление ракеля (Pressure)	65
3.5.2 Скорость ракеля (Print Speed)	66
3.5.3 Высота вертикального отделения трафарета (Descent stroke)	67
3.5.4 Скорость вертикального отделения (Descent speed)	67
3.5.5 Печатный зазор (Clearance)	68
3.5.6 Угол наклона ракеля (Squeegee angle)	69
3.5.7 Очистка трафарета (Cleaning interval)	69
3.5.8 Точность совмещения трафарета	69
3.6 Порядок настройки параметров пастопечати	71
3.7 Окончание процесса пастопечати	74
3.8 Дефекты пастопечати и способы их устранения	75
Глава 4. Трафарет	81
4.1 Изготовление трафарета	82
4.2 Общие правила проектирования трафарета	83
4.3 Ступенчатый трафарет	86
4.4 BGA-трафареты для реболлинга	87
4.5 Упаковка, хранение и срок службы трафарета	88
Глава 5. Автоматический контроль качества отпечатка паяльной пасты (SPI)	91
5.1 Оборудование для автоматического контроля качества отпечатка паяльной пасты	92
5.2 Алгоритмы проверки	93
5.3 Умные функции SPI	95
5.4 Параметры SPI	96
5.5 Статистика SPI	98
Глава 6. SMD-компоненты	101
6.1 Что такое SMD-компоненты?	102
6.1.1 Пассивные компоненты	103
6.1.1.1 Резисторы	103
6.1.1.2 Конденсаторы	104
6.1.1.3 Катушки индуктивности	106
6.1.1.4 Кварцевые резонаторы, генераторы	108
6.1.2 Активные компоненты	109

6.1.2.1 Диоды	109
6.1.2.2 Транзисторы	110
6.1.2.3 Микросхемы SMD	111
6.2 Упаковка SMD-компонентов	114
6.3 Стандарты при обращении с SMD-компонентами	116
6.3.1 Защита от электростатического разряда	116
6.3.2 Защита компонентов от влаги	119
6.3.2.1 Правила упаковки влагочувствительных компонентов	121
6.3.2.2 Правила хранения и обращения с влагочувствительными компонентами	122
6.3.2.3 Правила сушки влагочувствительных компонентов	123
Глава 7. SMT-монтаж	127
7.1 История возникновения SMT-монтажа	128
7.2 Преимущества поверхностного монтажа (SMT)	131
7.3 Оборудование, используемое для SMT-монтажа	132
7.3.1 Ручная установка с помощью оборудования	132
7.3.2 Полуавтоматическая сборка	132
7.3.3 Автоматизированная установка компонентов	133
7.3.3.1 Револьверные установочные автоматы	134
7.3.3.2 Портальные установочные автоматы	134
7.4 Автоматы установки Panasonic NPM-W/W2	136
7.4.1 Основные части автомата-установщика Panasonic NPM-W2	138
7.4.2 Внутренние части автомата	139
7.5 Автоматизированная система управления производством	143
7.5.1 DGS (Data Generation System)	143
7.5.2 Меню сенсорного монитора NPM	144
7.5.3 LNB (Line Network Box)	144
7.5.4 PanaCIM Manufacturing Execution System	144
7.6 Создание компонентов в управляющей программе	146
7.7 Подготовка SMT-линии к старту сборки изделия	148
7.7.1 Загрузка управляющей программы	149
7.7.2 Зарядка питателей	149
7.7.2.1 Зарядка катушек в ленточный питатель	149
7.7.2.2 Установка треев в лотковый питатель	153
7.7.3 Верификация компонентов в питателях	154
7.7.4 Расстановка нозлов в модуль хранения нозлов (магазин)	154
7.7.5 Настройка позиций взятия компонентов	154
7.7.6 Расстановка поддерживающих пинов	155
7.7.7 Проверка/настройка координат установки компонентов	156
7.7.8 Настройка распознавания компонентов	158
7.8 Производство	160
7.8.1 Запуск режима производства	160
7.8.2 Режим производства	160
7.8.3 Замена катушек с компонентами	161
7.8.4 Сплайсирование лент	162

7.8.5 Ошибки при монтаже	163
Глава 8. Пайка оплавлением	167
8.1 Конвекционная печь	168
8.2 Термопрофиль процесса оплавления	170
8.2.1 Стадия предварительного нагрева	173
8.2.2 Стадия стабилизации	174
8.2.3 Стадия оплавления	176
8.2.4 Стадия охлаждения	179
8.2.5 Специальные термопрофили	181
8.3 Термопрофилирование	183
8.4 Пайка в воздушной и азотной средах	188
8.5 Дефекты оплавления и способы их устранения	189
Глава 9. Автоматическая оптическая инспекция качества монтажа (AOI)	197
9.1 Основные понятия и оборудование автоматической оптической инспекции	198
9.2 Параметры проверки AOI	200
9.3 Статистика AOI	203
Глава 10. Автоматизированный выводной монтаж	209
10.1 Понятие выводного монтажа и выводных компонентов	210
10.2 Формовка компонентов	213
10.3 История возникновения автоматизированного выводного монтажа и его преимущества	215
10.4 Селективная пайка	217
10.4.1 Материалы	218
10.4.1.1 Припой	218
10.4.1.2 Флюс	219
10.4.2 Линия селективной пайки	219
10.4.2.1 Модуль флюсования	222
10.4.2.2 Модуль предварительного нагрева	223
10.4.2.3 Модуль пайки	224
10.4.2.3.1 Нозлы	224
10.4.2.3.2 Высота волны	227
10.4.2.3.3 Процесс пайки	228
10.4.2.4 Оснастки	231
10.4.3 Калибровка линии селективной пайки	232
10.4.3.1 Калибровка оптической камеры	232
10.4.3.2 Калибровка нозлов	233
10.4.3.3 Калибровка флюсователя	233
10.4.4 Термопрофилирование линии селективной пайки	234
10.4.5 Возможные дефекты и методы их устранения	236
10.4.6 Исключения в использовании линии селективной пайки	240
10.5 Линия волновой пайки	242
10.5.1 Материалы	243

10.5.1.1 Припой	243
10.5.1.2 Флюс	243
10.5.2 Оборудование	244
10.5.2.1 Линия волновой пайки	244
10.5.2.2 Защитные маски	244
10.5.3 Модули волновой пайки	247
10.5.3.1 Модуль флюсования	247
10.5.3.2 Модуль предварительного нагрева	249
10.5.3.3 Модуль пайки	251
10.5.3.3.1 Насадки для волновой пайки	251
10.5.3.3.2 Процесс пайки	252
10.5.4 Термопрофилирование	254
10.5.5 Калибровка линии волновой пайки	256
10.5.6 Возможные дефекты и методы их устранения	258
10.5.7 Исключения в использовании линии волновой пайки	261
10.6 Автоматическая оптическая инспекция выводного монтажа	262
10.7 Технология Pin-in-Paste	265

Глава 11. Конвейерное оборудование **273**

Глава 12. Ручной монтаж **279**

12.1 Основные понятия ручного монтажа	280
12.2 Оборудование, используемое на участке ручного монтажа	282
12.2.1 Паяльная станция	282
12.2.2 Жало паяльника	284
12.2.3 Термофен	286
12.2.4 Термостол (площадка нижнего подогрева) с держателем для печатных плат	287
12.3 Дополнительное оборудование и инструменты	288
12.4 Материалы	290
12.4.1 Трубчатый припой	290
12.4.2 Флюс-гель и флюс	290
12.5 Вспомогательные материалы и оснастки	292
12.6 Общие рекомендации по технологии ручного монтажа	294
12.6.1 Рекомендации по пайке с использованием паяльной станции	294
12.6.2 Выбор температурных режимов	296
12.6.2.1 Пайка при помощи термофена	297
12.6.2.2 Пайка при помощи паяльной станции	297
12.7 Технология ручного монтажа	298
12.7.1 Пайка кабеля / кабельной сборки	298
12.7.1.1 Подготовка кабеля / кабельной сборки	298
12.7.1.2 Рекомендации по монтажу кабеля / кабельной сборки	299
12.7.2 Выводной монтаж	299
12.7.2.1 Процесс монтажа выводных компонентов	299
12.7.2.2 Процесс демонтажа выводных компонентов	300
12.7.3 Поверхностный монтаж	301

12.7.3.1 Монтаж SMD-компонентов с двумя выводами (пассивные компоненты)	301
12.7.3.2 Монтаж SMD-компонентов с количеством выводов более двух (SOT, SOIC, QFP и т. д.)	302
12.7.3.3 Монтаж SMD-компонентов с выводами под корпусом (QFN, модули)	303
12.7.3.4 Монтаж SMD-компонентов с BGA-выводами	303
12.7.3.5 Монтаж SMD-разъемов	304
12.8 Возможные дефекты и методы их устранения	305
Глава 13. Дополнительные операции с печатными узлами	313
13.1 Отмывка	314
13.1.1 Локальная (ручная) отмывка	315
13.1.2 Автоматическая отмывка	316
13.2 Депанелизация	318
13.3 Технология Press-Fit	324
13.4 Функциональное тестирование	328
Глава 14. Контроль качества	333
14.1 Качество	334
14.2 Входной контроль	335
14.2.1 Входной контроль печатных плат	335
14.2.2 Расчет деформации изгиба и скручивания печатных плат	336
14.2.3 Входной контроль активных компонентов	337
14.2.4 Входной контроль пассивных компонентов	338
14.3 Операционный контроль	340
14.3.1 Проверка первой платы с производственной линии	340
14.3.2 Визуальный контроль	341
14.3.3 Рентгеновский контроль	341
14.3.4 Внутрисхемный контроль	346
14.4 Выходной контроль	349



Предисловие

Часто слышу, что в России электроники нет и не будет. Менталитет якобы у народа не тот.

«Только на Западе, в Японии, Китае и Тайване есть люди, способные к столь сложным и тонким технологическим процессам», — так утверждают скептики.

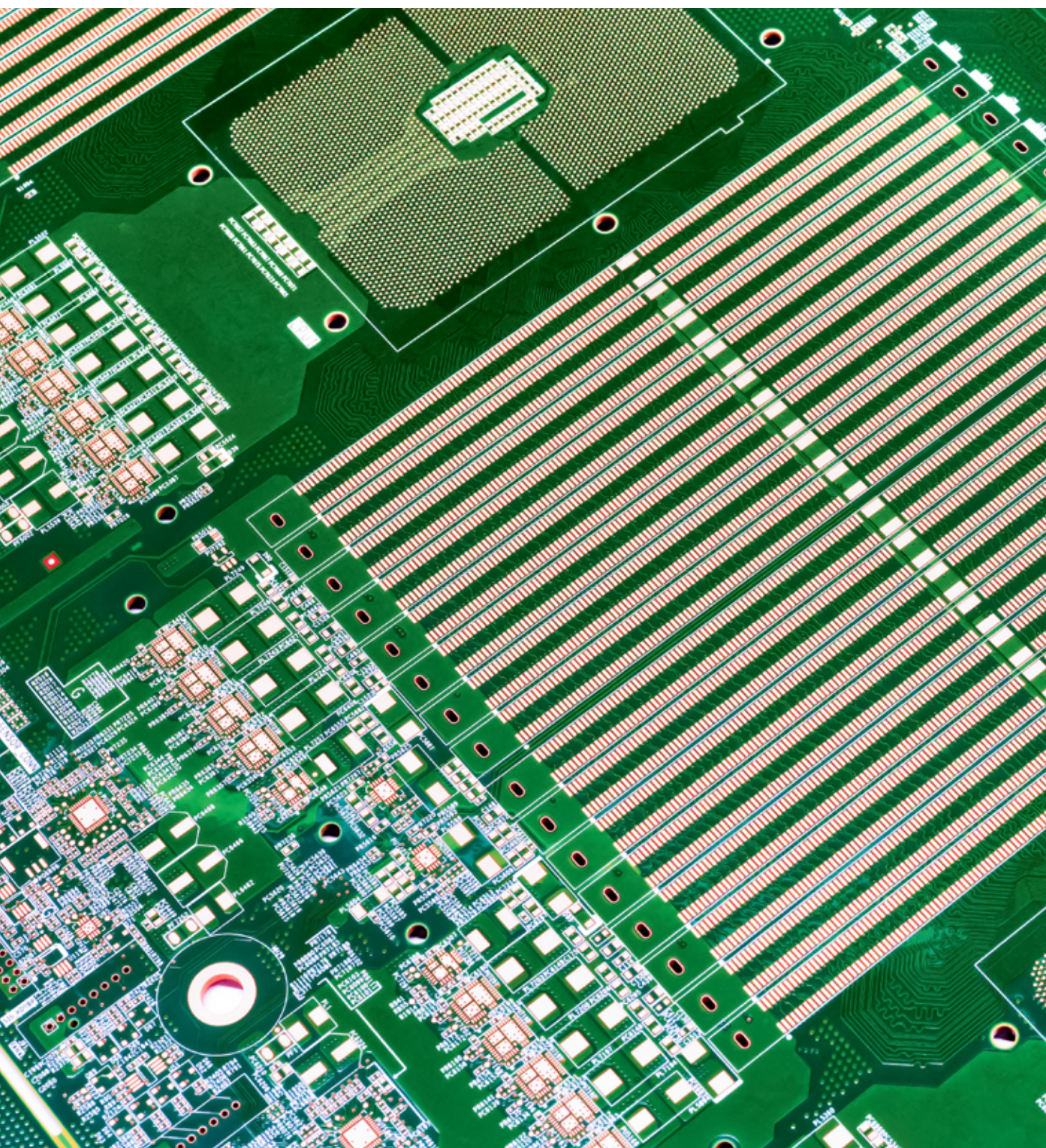
Твердо уверен, что это мнение ошибочное. Для великих свершений в области электроники нашим замечательным людям не хватает вдохновляющих целей, знаний, навыков и, конечно, первоклассного оборудования. По нашему опыту, этот барьер можно и нужно преодолеть, и в кратчайшее время.

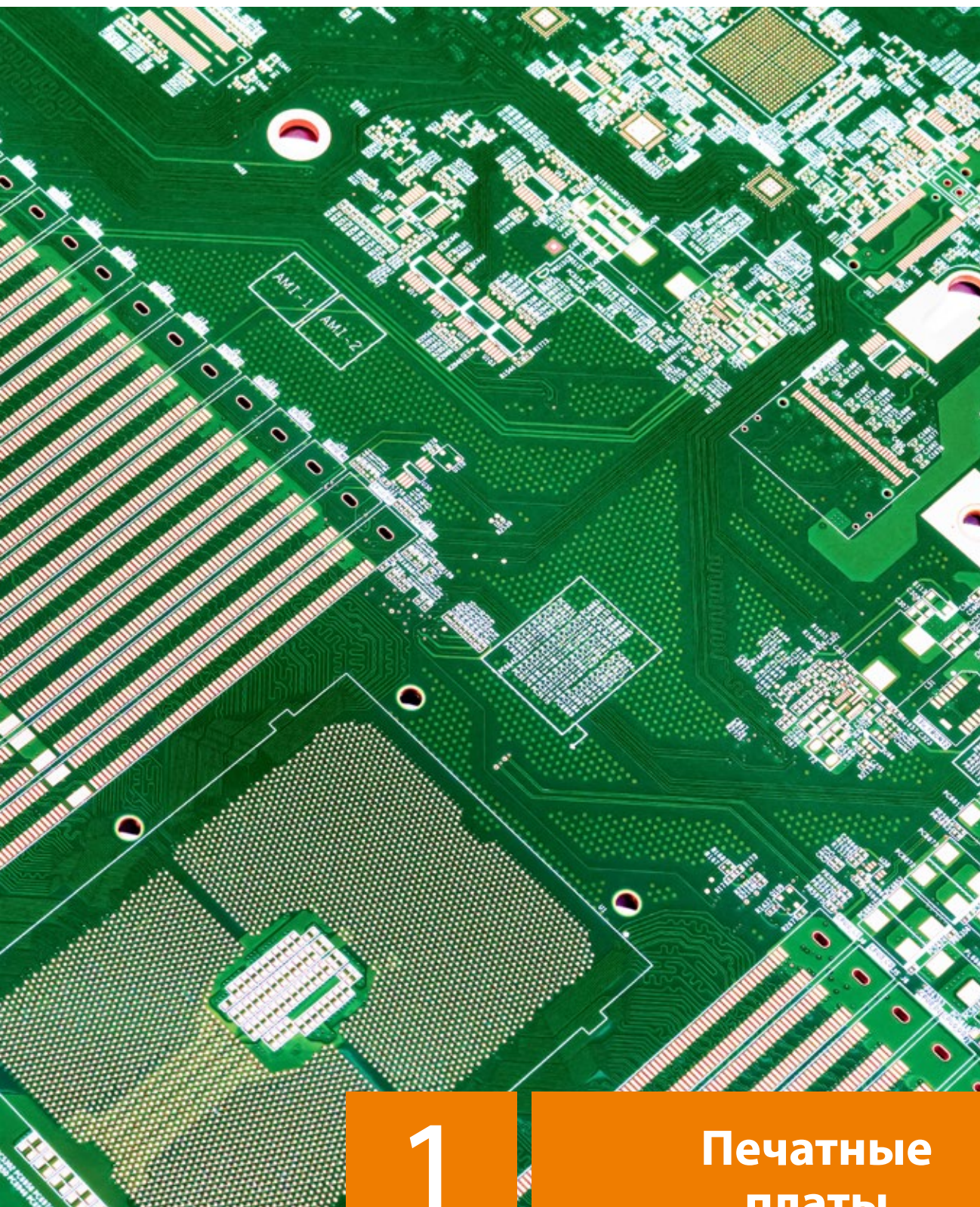
Посетив заводы мировых лидеров — контрактных производителей радиоэлектроники в Европе и Азии, а также научно-исследовательские институты, занимающиеся разработкой ключевых технологий, мы собрали лучшие решения, практики и технологии, объединили эти драгоценные знания с нашим личным опытом и опытом наших российских коллег.

Книга, которую вы держите в руках, раскрывает тайны стабильно высокого качества при сложном крупносерийном производстве радиоэлектроники.

Мы уверены, что столь ценные знания должны быть доступны всем специалистам по радиоэлектронике в нашей стране. Вместе мы сможем быстрее развивать радиоэлектронную промышленность России и обеспечить гражданам нашей страны комфортное и безопасное будущее.

*Темур Асрорович Аминджанов,
президент и основатель НПО СтарЛайн,
Академии безопасности, учредитель
Международного фестиваля детской
робототехники «РобоФинист», основатель Союза
национальных соревнований робототехники*





1

Печатные
платы

1.1 Что такое печатная плата?

Печатные платы являются основной единицей радиоэлектронной сборки, предназначенной для механического и электрического соединения электронных компонентов согласно схеме проекта.

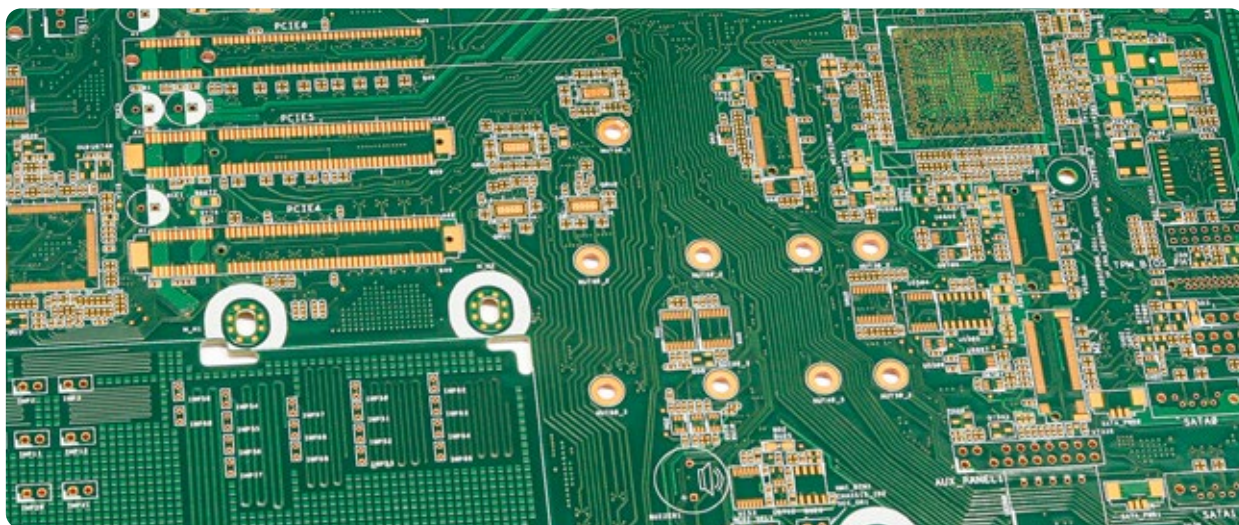
Печатная плата — это пластина из **диэлектрика**, на поверхности и/или в объеме которой сформирован **токопроводящий рисунок** согласно электрической схеме проекта.

Диэлектрик — вещество, не обладающее способностью проводить электрический ток.

В качестве диэлектрика могут выступать:

1. Листы, изготовленные на основе стеклотканей, пропитанных связующим на основе эпоксидных смол, — стеклотекстолит.
2. Листы с керамическим наполнителем, армированные стекловолокном.
3. Листы фторопласта армированные.

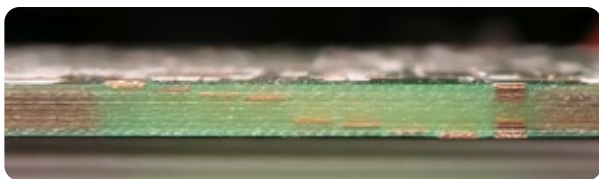
Токорводящий рисунок — рисунок печатной платы, образованный проводниковым материалом (проводит электрический ток) на поверхности или в объеме печатной платы. Токорводящий рисунок состоит из печатных проводников (дорожек), контактных площадок, металлизированных отверстий.



Печатная плата

1.2 Слои печатной платы

Печатные платы ранжируются в зависимости от количества токопроводящих медных слоев.



Печатная плата в разрезе

В зависимости от количества слоев печатные платы классифицируются на три вида:

- 1. Односторонняя печатная плата (ОПП)** — это плата, на одной стороне которой выполнены элементы токопроводящего рисунка. Такие печатные платы просты по конструкции и экономичны в изготовлении. Их применяют для монтажа бытовой радиоаппаратуры, блоков питания и устройств техники связи.



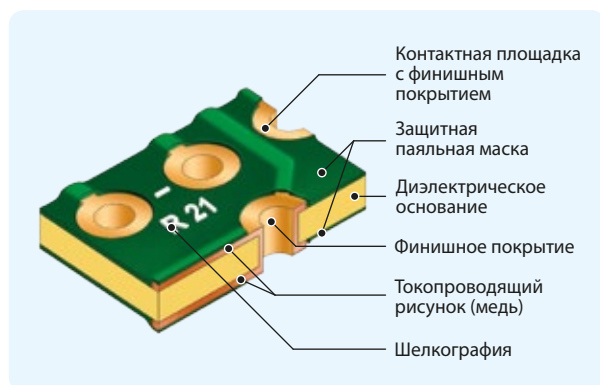
Односторонняя печатная плата (ОПП)

Шелкография — это поясняющая надпись на маске печатной платы. Используется для обозначения монтируемых компонентов, названия печатной платы, обозначения полярности, тестовых точек и т. д. Содержит информацию для визуализации и идентификации печатной платы.

Защитная паяльная маска — это тонкое термостойкое покрытие печатных плат, наносимое избирательно для защиты отдельных участков печатной платы в процессе пайки от наплывов припоя и образования перемычек.

Финишное покрытие — это защитное покрытие контактных площадок от молекул кислорода, обеспечивающее плоскостность покрытия для надежной пайки электронных компонентов к контактным площадкам.

- 2. Двухсторонняя печатная плата (ДПП)** — это плата, на обеих сторонах которой выполнены элементы токопроводящего рисунка и все требуемые соединения в соответствии с электрической принципиальной схемой платы. Электрическая связь между сторонами осуществляется с помощью металлизированных отверстий. Размещать электронные компоненты можно как на одной, так и на двух сторонах печатной платы. Двухсторонние печатные платы используются в измерительной технике, системах управления и автоматического регулирования и др.

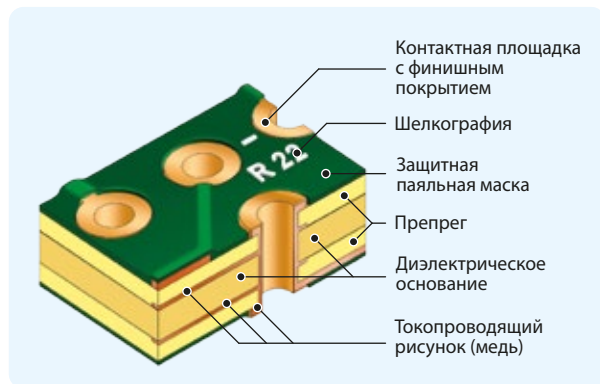


Двухсторонняя печатная плата (ДПП)

3. Многослойная печатная плата (МПП) — это плата, состоящая из чередующихся слоев изоляционного материала (диэлектрика) с токопроводящими рисунками на двух или более слоях, между которыми выполнены требуемые соединения.

Электрическая связь между токопроводящими слоями может быть выполнена печатными элементами (например, металлизированными отверстиями). Многослойные печатные платы характеризуются высокой надежностью и плотностью монтажа, устойчивы к климатическим и механическим воздействиям.

Многослойные печатные платы отличаются трудоемкостью в изготовлении, совмещении слоев и сложностью получения высокой точности токопроводящего рисунка. Применяются в электронно-вычислительной и ответственной электронике.



Многослойная печатная плата (МПП)

Препрег — это изоляционная подкладка, используемая для связи слоев. В процессе пресования при определенной температуре смола препрега заполняет межслойное пространство, связывая слои между собой.



А знаете ли вы, что существуют гибкие печатные платы?

Гибкая печатная плата — это печатная плата, имеющая гибкое основание из диэлектрика. Гибкая печатная плата является аналогом жесткой по расположению печатных проводников, контактных площадок, по размещению электронных компонентов, но при этом она имеет гибкое основание толщиной 0,1–0,5 мм, может изгибаться, работать на перегибы и принимать разную форму.

Гибкие платы применяются в случаях, когда плата в процессе эксплуатации подвергается многократным изгибам, вибрациям или когда ей необходимо придать для работы изогнутую компактную форму (поместить в небольшой объем). Гибкие печатные платы могут изготавливаться в комбинации с жесткими платами.



Гибкая печатная плата

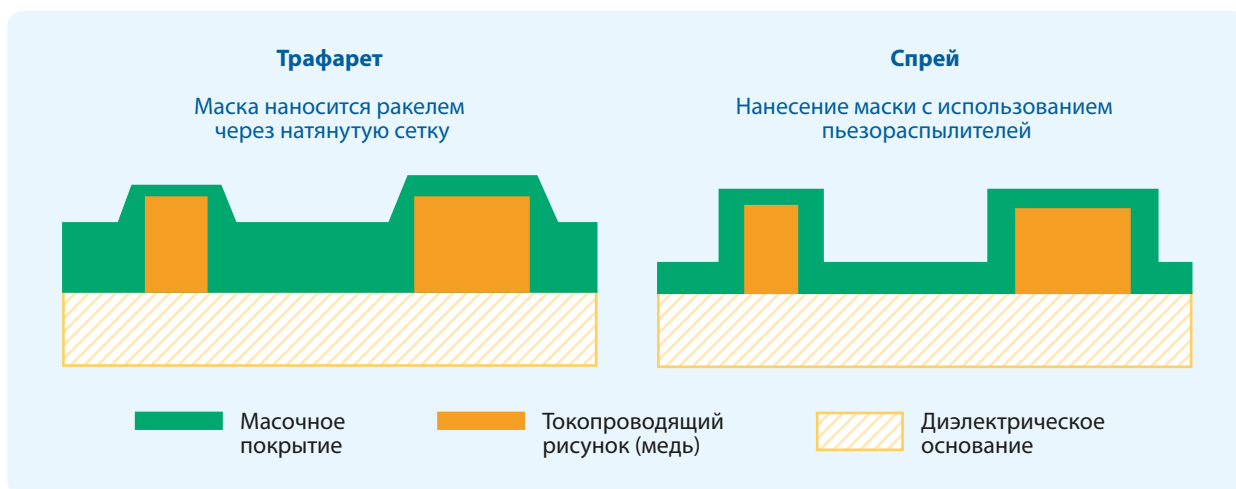
1.3 Маска и шелкография печатных плат

Маска печатных плат — это тонкое термостойкое покрытие печатных плат, наносимое избирательно для защиты отдельных участков печатной платы в процессе пайки от наплывов припоя и образования перемычек. Также паяльная маска защищает проводники (дорожки) от механического воздействия и защищает стеклотекстолит от термоударов при пайке.

Защитная паяльная маска может быть различных цветов. Цвет маски не влияет на характеристики и функции защитного покрытия, а влияет только на внешний вид.

Существует два основных способа нанесения масочного покрытия:

1. Трафаретная печать.
2. Струйно-факельное распыление.



Способы нанесения масочного покрытия

1.4 Финишное покрытие печатных плат

Контактные площадки печатных плат покрывают защитным финишным покрытием. Это необходимо, так как контактные площадки и дорожки выполнены из меди. При попадании на поверхность меди молекул кислорода происходит окисление, из-за чего в процессе оплавления не образуется надежное паяное соединение.

На открытые от маски участки меди различными методами наносится финишное покрытие для обеспечения качественной пайки.

Финишное покрытие должно обеспечивать:

1. Сохранение паяемости печатных плат длительное время (защита медных площадок от молекул кислорода).
2. Возможность нескольких паяек (возможность повторной пайки).
3. Плоское и ровное покрытие (гарантирует повторяемость процесса пастопечати).

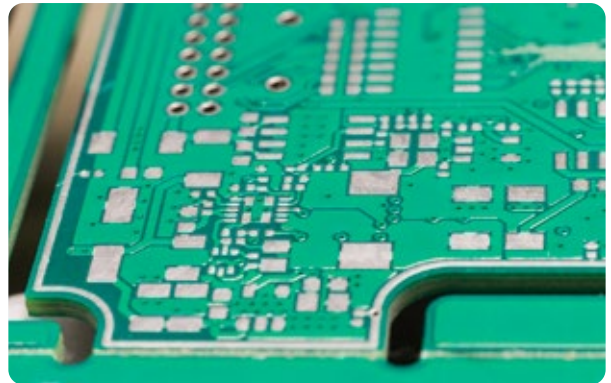
Виды финишного покрытия:

1. Горячее лужение (HASL — Hot Air Solder Leveling).
2. Иммерсионное золочение с подслоем никеля (ENIG — Immersion Gold).
3. Иммерсионное серебрение (ImmAg — Immersion Ag).
4. Органическая защита (OSP — Organic Solderability Preservative).
5. Иммерсионное олово с подслоем органического металла (ImmSn — Immersion Tin).

1.4.1 Горячее лужение (HASL)

Толщина покрытия: 12–20 мкм.

Нанесение финишного покрытия происходит путем окунания заготовки в расплавленный припой с последующим выравниванием покрытия горячим воздухом. Возможно применение свинцового и бессвинцового припоя.



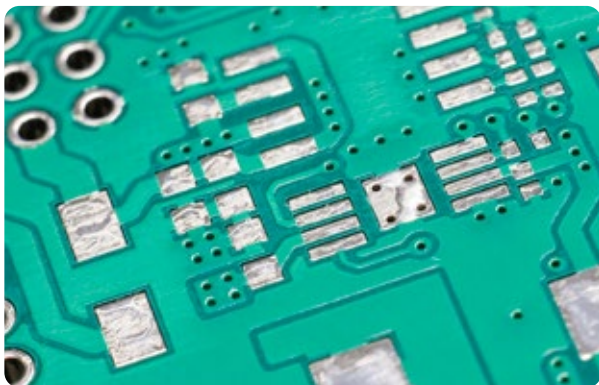
Финишное покрытие HASL

Преимущества:

1. Отличная паяемость, так как само покрытие является припоем.
2. Широкий температурный диапазон при монтаже и возможность повторной пайки.
3. Невысокая стоимость покрытия.
4. Длительный срок хранения, около 12 месяцев.

Недостатки:

1. Неровная поверхность, наплывы.



Наплывы финишного покрытия на контактных площадках

2. Из-за неравномерного покрытия усложняется монтаж SMD-компонентов с шагом выводов менее 0,5 мм и BGA-компонентов.
3. В процессе нанесения покрытия плата получает жесткий термоудар (235–245 °С), что может приводить к избыточному **короблению печатной платы**.

Коробление печатной платы — это изменение формы печатной платы (деформация кручения или изгиба) при воздействии высоких температур.

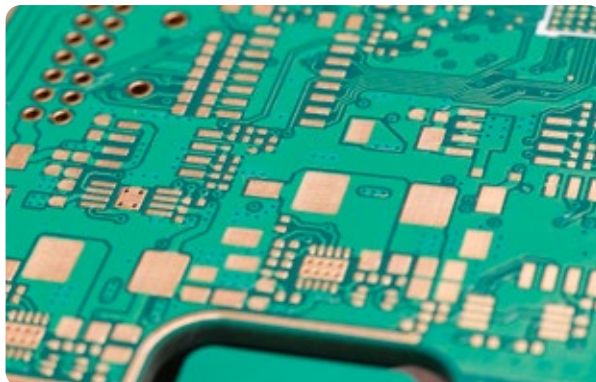
4. Возможны замыкания на платах с мелким шагом выводов.

1.4.2 Иммерсионное золочение с подслоем никеля (ENIG)

Толщина подслоя никеля (Ni) 3–6 мкм, слоя золота (Au) 0,05–0,1 мкм.

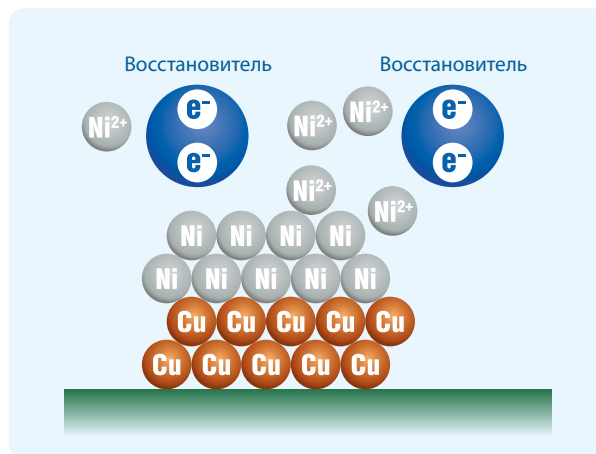
Процесс золочения заключается в нанесении тонкого слоя золота (0,05–0,1 мкм) методом **иммерсионного осаждения** на **химически осажденный** слой никеля (примерно 3–6 мкм). Такая комбинация из слоев получается очень ровной. Никель применяется в качестве подслоя для предотвращения химического взаимодействия между медью и золотом, также никель повышает

износоустойчивость слоя золота за счет повышения твердости подложки.



Финишное покрытие ENIG

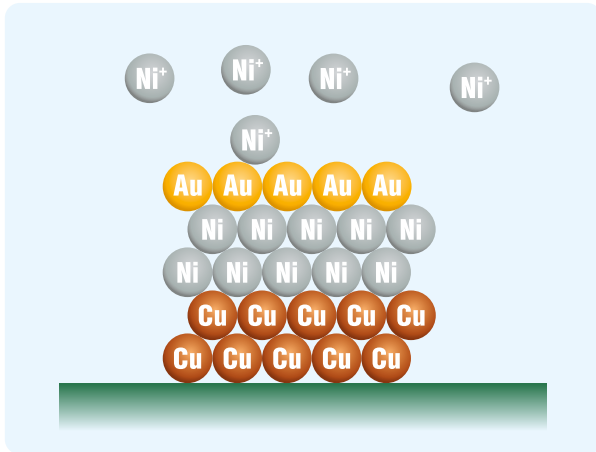
Химическое осаждение происходит в результате окислительно-восстановительной реакции. Толщина металла увеличивается в течение всего времени нахождения платы в ванне.



Химическое осаждение

Иммерсионное осаждение — это использование реакции замещения для нанесения слоя металла на открытые металлические поверхности платы.

Основной металл отдает электроны, которые уменьшают количество положительно заряженных ионов металла, присутствующих в растворе. Иммерсионный слой будет расти, и толщина будет увеличиваться, но с ростом толщины скорость осаждения будет падать.



Иммерсионное осаждение

Преимущества:

1. Высокая планарность поверхности, равномерная толщина покрытия.
2. Подходит для монтажа SMD-компонентов с шагом менее 0,5 мм и BGA-компонентов.
3. Хорошая паяемость.
4. Длительный срок хранения, около 12 месяцев.

Недостатки:

1. Относительно высокая стоимость покрытия.
2. Возможны эффекты «черной площадки» из-за окисления (коррозии) никеля.
3. Покрытие содержит никель, считающийся потенциальным канцерогеном.

1.4.3 Иммерсионное серебрение (ImmAg)

Толщина покрытия 0,05–0,1 мкм.

Иммерсионное серебро — это финишное покрытие, при котором на медную поверхность контактных площадок из раствора осаждается тонкий слой серебра.

Преимущества:

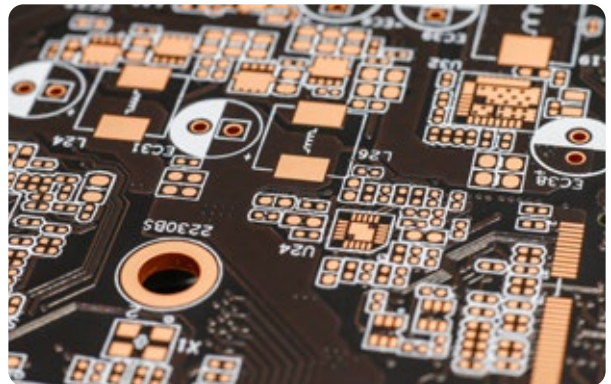
1. Высокая планарность поверхности, равномерная толщина покрытия.
2. Подходит для монтажа SMD-компонентов с шагом менее 0,5 мм и BGA-компонентов.
3. Средняя стоимость покрытия.

Недостатки:

1. Требуется осторожное обращение, возможно потускнение металла из-за окисления.
2. Сложность визуального контроля окисления.
3. Срок хранения около 6 месяцев.

1.4.4 Органическая защита (OSP)

Толщина покрытия 0,2–0,6 мкм.



Финишное покрытие OSP

Альтернативой покрытию металлами является защита контактных площадок органическими защитными покрытиями. Они обеспечивают плоскую поверхность и не приводят к замыканию контактов элементов. Имеют меньшую стоимость, чем покрытие никелем и золотом.

Органические покрытия разлагаются при пайке, тогда как металлические покрытия растворяются в сплаве, образуя паяное соединение.

Преимущества:

1. Высокая планарность поверхности, равномерная толщина покрытия.
2. Подходит для монтажа компонентов с малым шагом выводов.
3. Невысокая стоимость покрытия.
4. Экологически чистый техпроцесс.

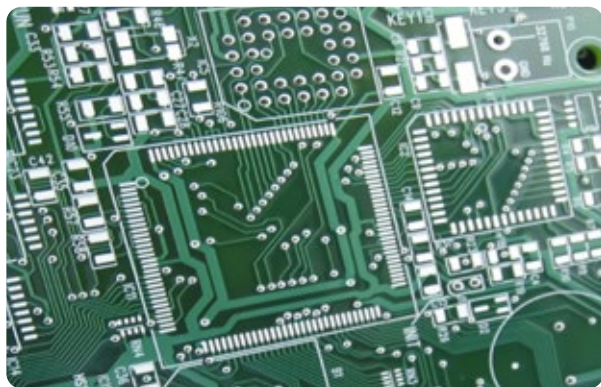
Недостатки:

1. Требуется осторожного обращения (тонкое покрытие подвержено механическим повреждениям).
2. Ограниченное число термических циклов.
3. Срок хранения около 6 месяцев.

1.4.5 Иммерсионное олово с подслоем органического металла (ImmSn)

Органический металл — это органическое соединение с металлической проводимостью.

Толщина подслоя органического металла 0,08–0,1 мкм, слоя олова (Sn) 0,5–0,8 мкм.



Финишное покрытие ImmSn

Процесс нанесения иммерсионного олова похож на процесс нанесения иммерсионного золота.

Иммерсионное олово имеет хорошую паяемость после длительного хранения, так как в качестве барьера между медью контактных площадок и оловом находится подслой органического металла (0,08–0,1 мкм). Барьерный подслой пре-

дотвращает химическое взаимодействие между медью и оловом.

Преимущества:

1. Высокая планарность поверхности, равномерная толщина покрытия.
2. Отличная паяемость, так как само покрытие является составляющим припоя.
3. Подходит для монтажа компонентов с малым шагом выводов.
4. Невысокая стоимость.

Недостатки:

1. Требуется осторожного обращения (тонкое покрытие подвержено механическим повреждениям).
2. Ограниченное число термических циклов.
3. Срок хранения около 6 месяцев.

1.5 Мультиплицирование единичных печатных плат

Конструкторское бюро разрабатывает единичную печатную плату, которая мультиплицируется в мультизаготовку.

Мультиплицирование печатной платы — это процесс объединения нескольких печатных плат или узлов на одной заготовке.

Мультиплицирование выполняется для оптимизации и ускорения производства и монтажа печатной платы.

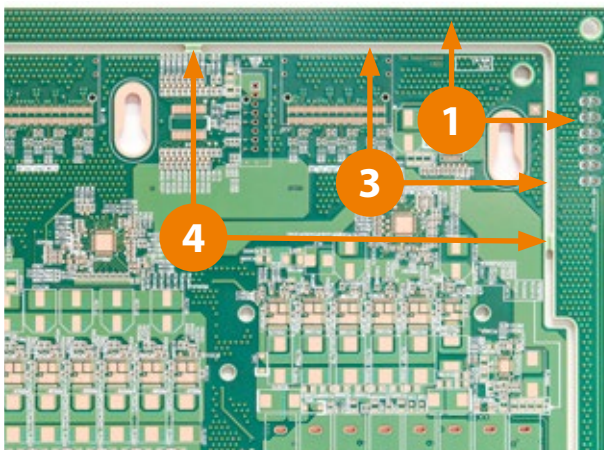
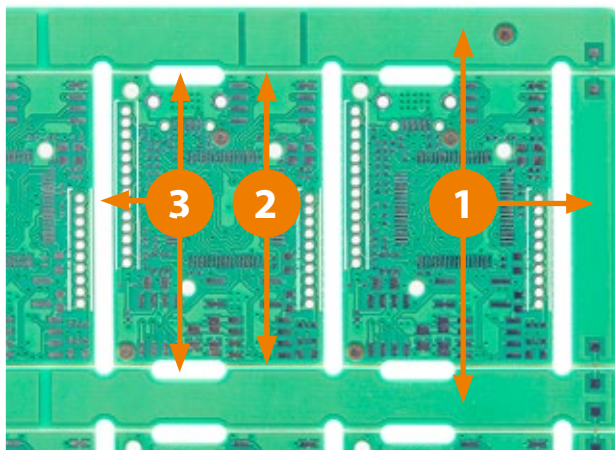
Печатная плата — единичная плата без установленных компонентов.

Печатный узел — единичная плата с установленными и запаянными компонентами.

Мультизаготовка — мультипликация нескольких печатных плат или печатных узлов.

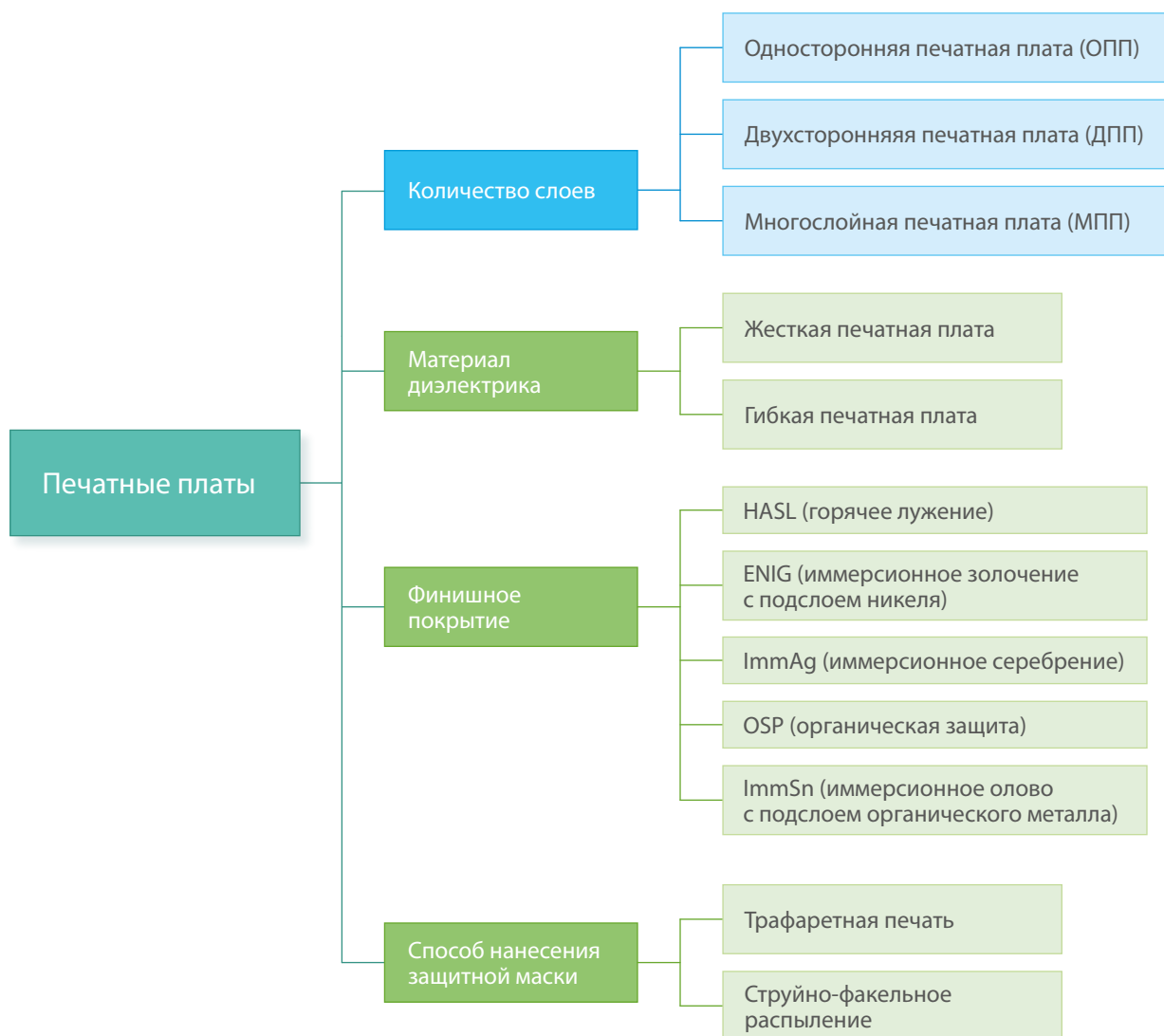
При мультиплицировании единичные печатные платы соединены между собой диэлектриком, на который нанесены линии скрайбирования, выполнена фрезеровка или перфорированные перемычки. По линиям скрайбирования и перемычкам будет выполнено разделение мультизаготовки на печатные узлы. Линии фрезеровки оптимизируют процесс разделения мультизаготовки.

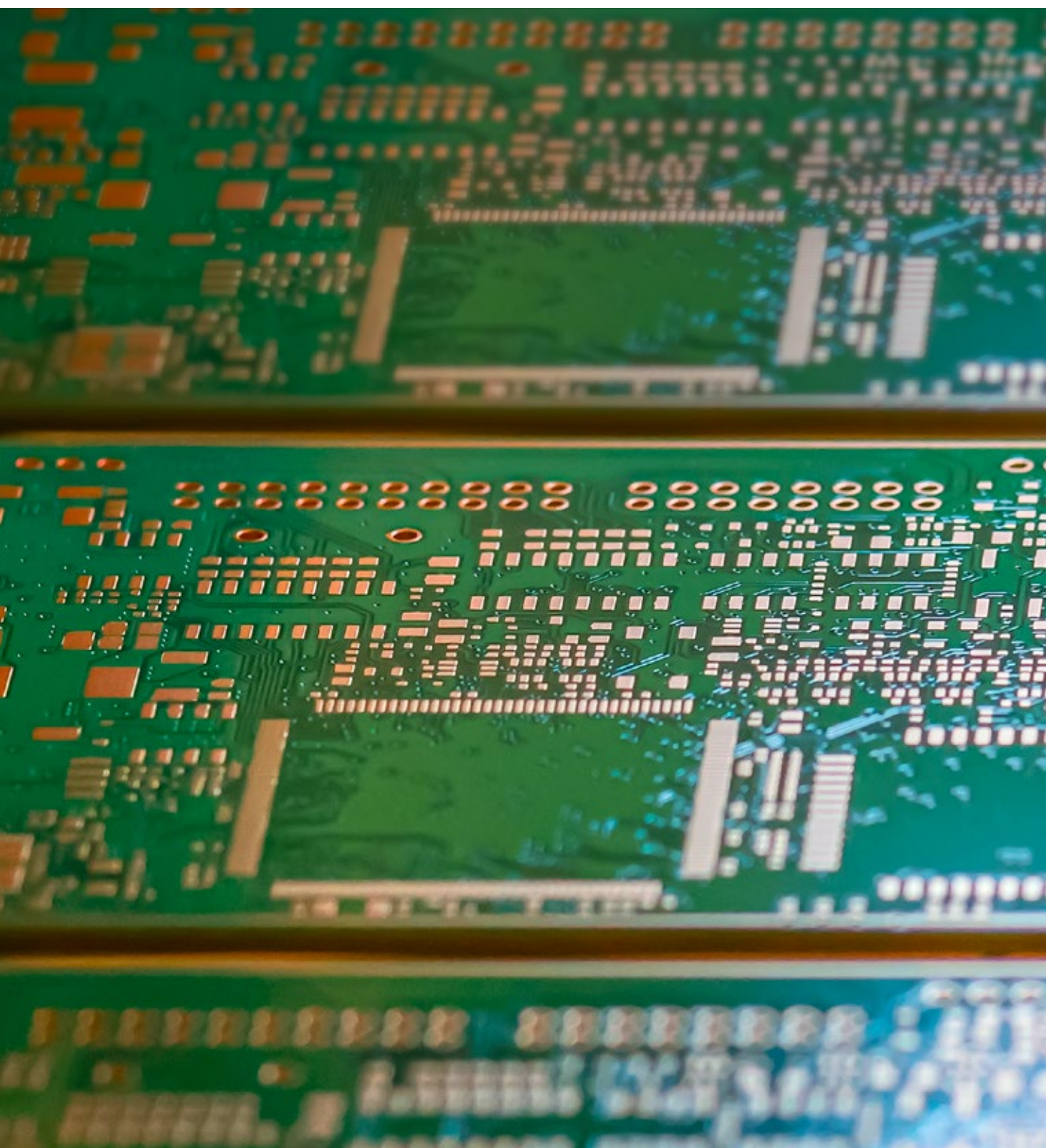
По краям зоны мультипликации или единичной печатной платы добавляются технологические поля. Поля необходимы для транспортировки печатной платы на конвейерах оборудования и для предотвращения прогибания платы в процессе автоматической сборки.

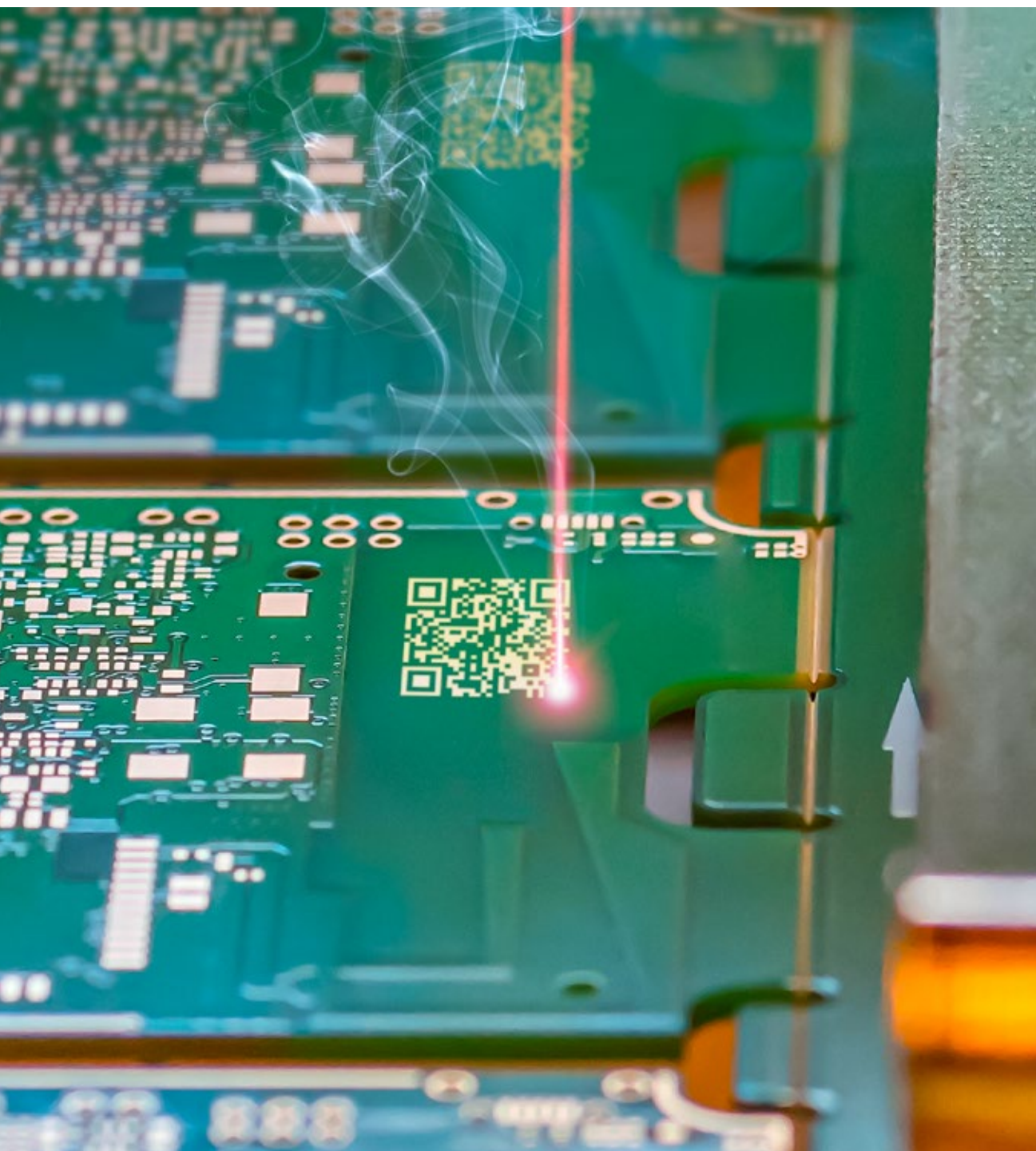


Мультизаготовка и единичная печатная плата (1 — технологические поля; 2 — линии скрайбирования; 3 — фрезеровка; 4 — перемычки)

Печатные платы. Схема-памятка







2

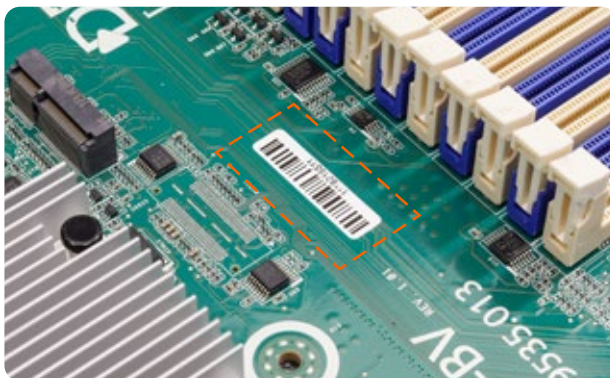
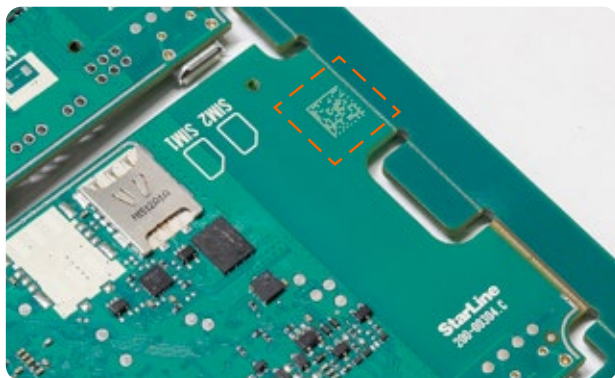
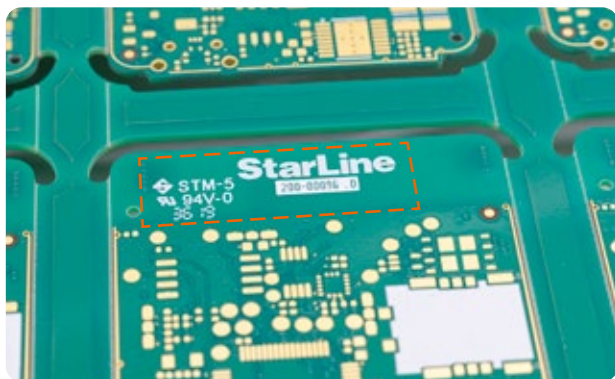
**Маркировка печатных
лат и узлов**

2.1 Маркировка и прослеживаемость печатных плат

Маркировка печатных плат и узлов — это процесс нанесения определенного типа шрифта или обозначений на печатные узлы для их дальнейшей идентификации.

Идентификация проводится с целью обеспечения **прослеживаемости** операций, выполняемых с каждой печатной платой в течение ее производственного цикла, и для обеспечения принудительной маршрутизации.

Прослеживаемость — возможность по используемому идентификатору проследить историю выполняемых технологических операций или в режиме реального времени определить местонахождение печатных плат в производственном процессе, а также узнать партии компонентов, которые были установлены на печатный узел.



Примеры маркировки

Печатные платы маркируются одним из следующих способов:

1. Лазерная маркировка штрихкодом или 2D-кодом.
2. Наклейка со штрихкодом или 2D-кодом.
3. Шелкография.

Маркировка печатных плат на производствах НПО СтарЛайн производится путем нанесения **2D-кода** (используемый идентификатор) с помощью лазерного маркировщика.

2D-код — это двумерный тип штрихкода, который хранит информацию в виде серии пикселей в квадратной сетке, которая внешне выглядит как черно-белый узор.

2D-код, в отличие от штрихкода:

1. Обеспечивает меньшие габариты (минимальный размер штрихкода — 29,83 мм × 20,74 мм, 2D-кода: 2 × 2 мм).
2. Читается в двух направлениях — по горизонтали и по вертикали.
3. Хранит больше данных (объем данных 2D-кода составляет 3116 цифр, штрихкода: 12 цифр).

На производствах НПО СтарЛайн существует стандартизированный вид информации, которая кодируется в 2D-код. Туда входят:

1. Номер производственной линии, где проводилась сборка.
2. Сторона сборки изделия (Primary/Secondary).
3. Номер проекта и ревизия изделия согласно спецификации.
4. Год, номер недели и день недели производства.
5. Номер мультизаготовки.
6. Порядковый номер печатного узла в заготовке.

Хранение данных о выполняемых операциях с изделиями (печатной платой) обеспечено:

1. В базе данных автоматических оптических инспекций: SPI, AOI.
2. В базе данных функционального тестирования (изделия НПО СтарЛайн).
3. В базе данных внутрисхемного тестирования — ICT.
4. В базе данных системы **Aegis**.

Aegis — автоматизированная система управления производственными процессами (система умного производства), в которой заложена последовательность выполняемых операций (стадий) согласно утвержденному технологическому маршруту изделия.

В Aegis регистрируется информация о прохождении платы этапов производственного процесса: маркировки, установки компонентов, оптической инспекции и операций монтажа, тестирования, контроля качества.

Также в Aegis содержится информация об исполнителе, дате и времени проведения каждой операции по маршруту сборки изделия.

Информация о выполнении каждой операции вносится в систему автоматически на линиях поверхностного монтажа (встроенные сканеры) и исполнителями на ручных операциях.



Встроенный сканер



Ручной сканер

Также в системе Aegis содержатся инструкции по выполнению операций и вспомогательная документация, сопровождающая производство.

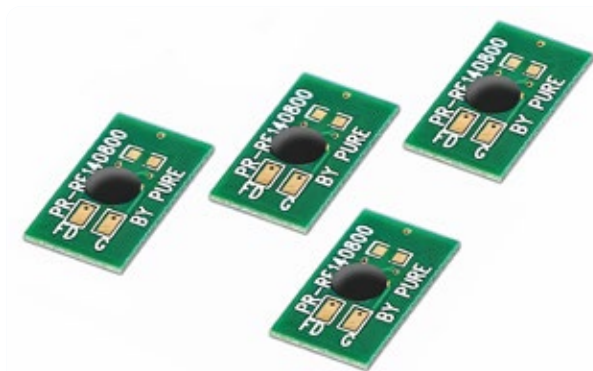
Преимущества автоматизированной системы управления Aegis:

1. Она обеспечивает утвержденную последовательность операций с печатной платой согласно технологическому маршруту (последующая операция может быть выполнена только при успешном выполнении предыдущей операции, согласно технологическому маршруту).
2. Дает возможность выгрузить историю выполненных производственных операций в случае необходимости, например с целью установления и решения коренных причин отклонений.



А знаете ли вы, что существует маркировка печатных плат при помощи RFID-метки?

RFID-метка — это радиочастотная идентификация. Это технология, которая позволяет автоматически идентифицировать и отслеживать перемещение объектов, в том числе тех, что находятся на расстоянии, с помощью радиосигналов.



RFID-метка

Сейчас практически каждый человек носит в своем кошельке несколько устройств с RFID-меткой — это бесконтактные банковские карты и карты бесконтактной оплаты проезда в общественном транспорте.

В процессе производства небольшая метка RFID на гибкой подложке наклеивается на заготовку платы или устанавливается на нее в качестве компонента. Начиная с этого момента производственные данные платы можно записывать и считывать с микросхемы метки на каждом этапе производственного процесса. В памяти метки можно фиксировать в том числе и любые события, такие как сбой в процессе производства.

2.2 Оборудование и принцип работы

На производствах НПО СтарЛайн маркировка печатных плат происходит при помощи лазерных маркировщиков Panasonic LPS-C NM-EJW9A и YJ Link ALMC-CE. Лазерные маркировщики являются одним из составных блоков SMT-линии.

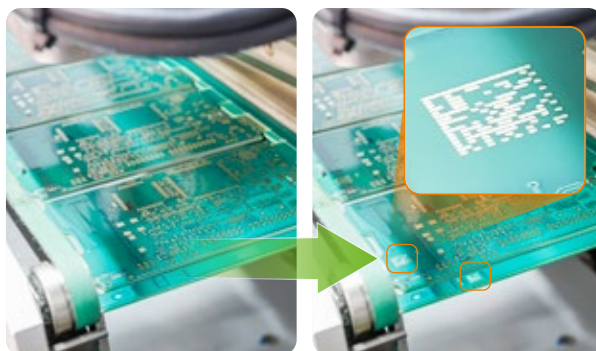


Лазерный маркировщик Panasonic LPS-C NM-EJW9A



Лазерный маркировщик YJ Link ALMC-CE

Маркировка лазером — это изменение поверхности печатных плат (выжигание верхнего слоя) под воздействием лазерного излучения.



Процесс нанесения лазерной маркировки

Принцип технологии лазерной маркировки: лазер выжигает верхний слой печатной платы (слой маски), чтобы информационное сообщение или изображение (QR-код) отобразилось на определенном месте, согласно управляющей программе. Под действием лазера поверхность печатной платы (маска) нагревается, масочное покрытие частично выгорает и испаряется.

Преимущества технологии лазерной маркировки:

1. Высокая устойчивость к химическим и механическим воздействиям по сравнению с другими способами идентификации печатных плат (наклейки, краска, гравировка).
2. Экономия для компании на расходных материалах (маркировка без использования реагентов и другого вспомогательного сырья).

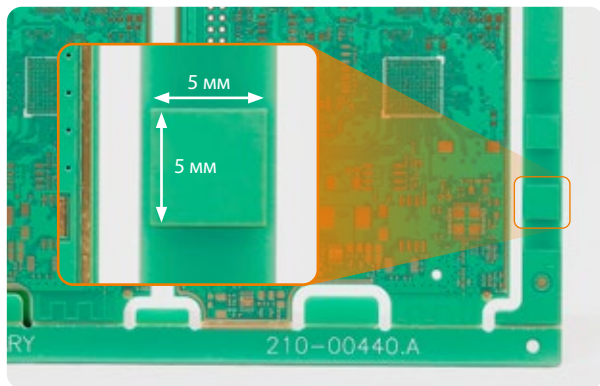
3. Высокая четкость изображения из-за цветового контраста.
4. Сохранение формы печатной платы без термической и механической деформации.
5. Высокая скорость нанесения изображений и надписей.
6. Возможность маркировки в труднодоступных местах.

2.2.1 Правила расположения 2D-кода

Для изделий НПО СтарЛайн место расположения и размеры 2D-кода на мультизаготовке и единичной плате определяются отделом разработок. Эта информация указывается в технической документации и в сборочном чертеже печатной платы.

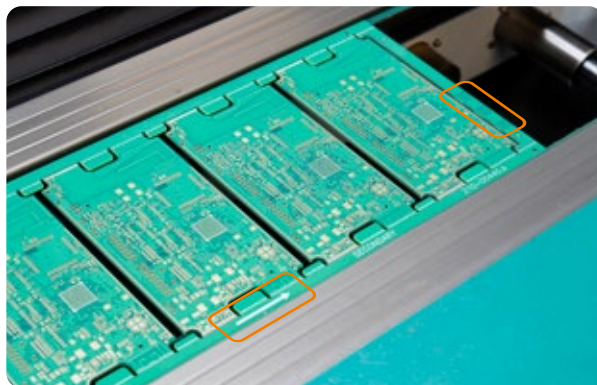
Общий ряд рекомендаций к расположению 2D-кода на мультизаготовке:

1. Рекомендованные размеры 2D-кода: 6 × 6 мм с допуском 0,5 мм на каждую сторону, 5 × 5 мм с допуском 0,5 мм на сторону, 4 × 4 мм с допуском 0,5 мм на сторону. Допустимы и меньшие размеры, если 2D-код корректно считывается автоматическим и ручным сканером.



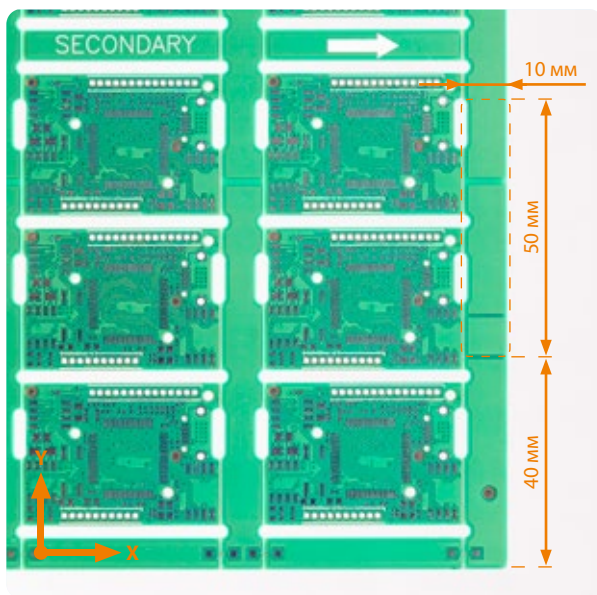
Рекомендуемый размер 2D-кода

2. 2D-код располагается на правом наружном поле мультизаготовки по оси Y, ориентир — движение печатной платы на линии.



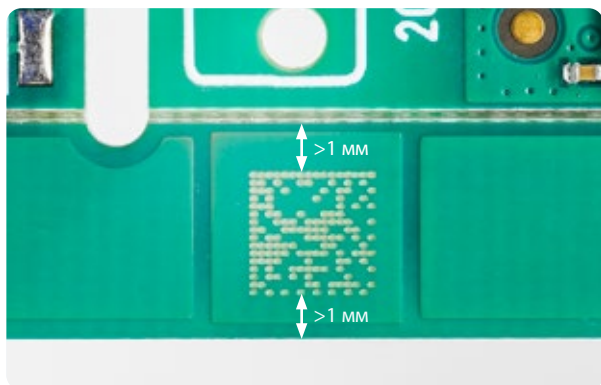
Расположение 2D-кода относительно движения печатной платы

3. 2D-код наносят на расстоянии 40 мм от края мультизаготовки по оси Y. Диапазон нанесения по оси Y составляет 50 мм, по оси X — 10 мм. Необходимо соблюдать рекомендации, так как автоматические сканеры на оборудовании НПО СтарЛайн настроены на заданную область. Изменение места расположения 2D-кода приводит к необходимости перенастройки автоматических сканеров.



Расположение 2D-кода относительно краев мультизаготовки

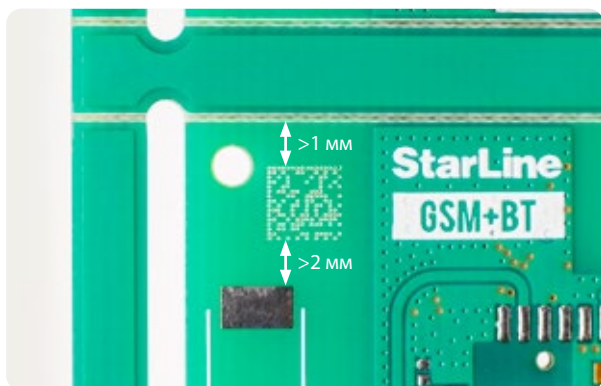
4. Расстояние от 2D-кода до линии скрайбирования и/или до края мультизаготовки должно быть не менее 1 мм.



Расстояние до линии скрайбирования и края мультизаготовки

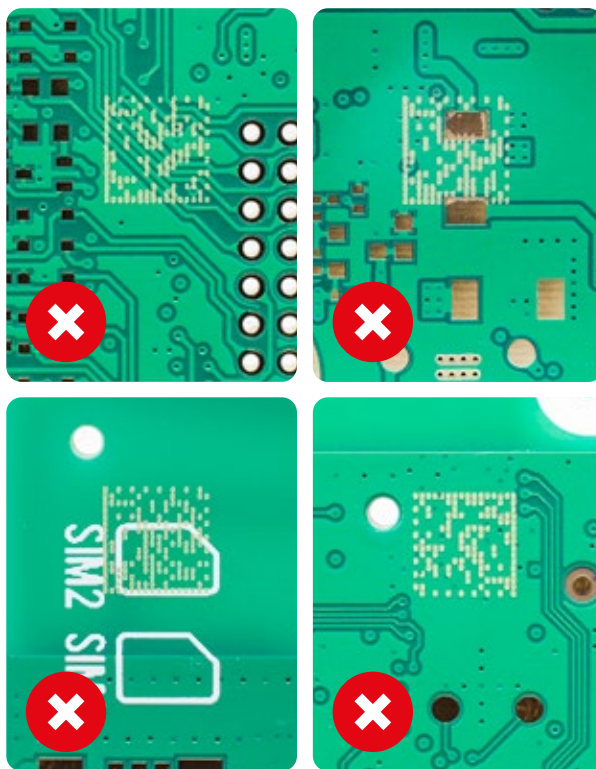
Для единичных плат в мультизаготовке рекомендации следующие:

1. Рекомендованные размеры 2D-кода: 5×5 мм с допуском 0,5 мм на каждую сторону, 4×4 мм с допуском 0,5 мм на сторону. Допустимы и меньшие размеры, если 2D-код корректно считывается автоматическим и ручным сканером.
2. Расстояние от края области для нанесения 2D-кода до ближайшей контактной площадки на печатной плате должно быть минимум 2 мм. Расстояние до линии скрайбирования или шелкографии минимум 1 мм.



Расстояние до линии скрайбирования и контактной площадки

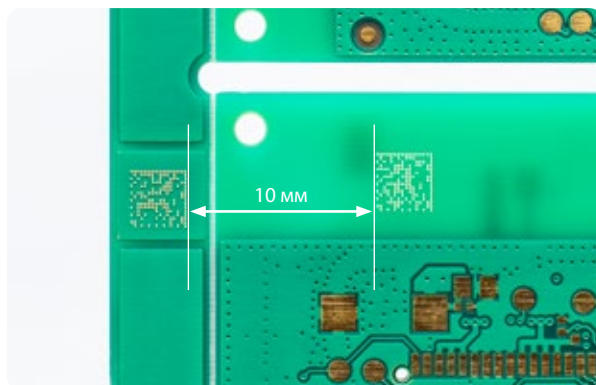
3. Не рекомендуется наносить 2D-код в местах установки компонентов, на проводниках (дорожках), на шелкографии и на переходных отверстиях.



Неверное нанесение 2D-кода

Расположение 2D-кода в данных областях затрудняет считывание или делает его невозможным.

4. Расстояние от 2D-кода единичной печатной платы до 2D-кода мультизаготовки должно составлять минимум 10 мм.



Минимальное расстояние между 2D-кодами единичной платы и мультизаготовки

2.3 Очистка мультизаготовок после лазерной маркировки

Очистка мультизаготовок после лазерной маркировки является обязательным технологическим процессом, так как на этой операции с поверхности платы удаляются микроскопические частицы, образовавшиеся в процессе маркировки, а также удаляется пыль, которая оседает на печатные платы в процессе транспортировки и после изъятия плат из вакуумной упаковки.

На производствах НПО СтарЛайн используются очистители YJ LINK ADRC-CE и TEKNEK SMT-0400.



Очиститель YJ LINK ADRC-CE

Использование очистителя является одним из этапов подготовки печатной платы к процессу пастопечати. В процессе пастопечати качество отпечатка измеряется в микрометрах (тысячная доля миллиметра), поэтому поверхность контактных площадок должна быть без посторонних материалов.

Принцип работы YJ LINK ADRC-CE

Очиститель удаляет пыль и остатки лазерной маркировки с мультизаготовок при помощи:

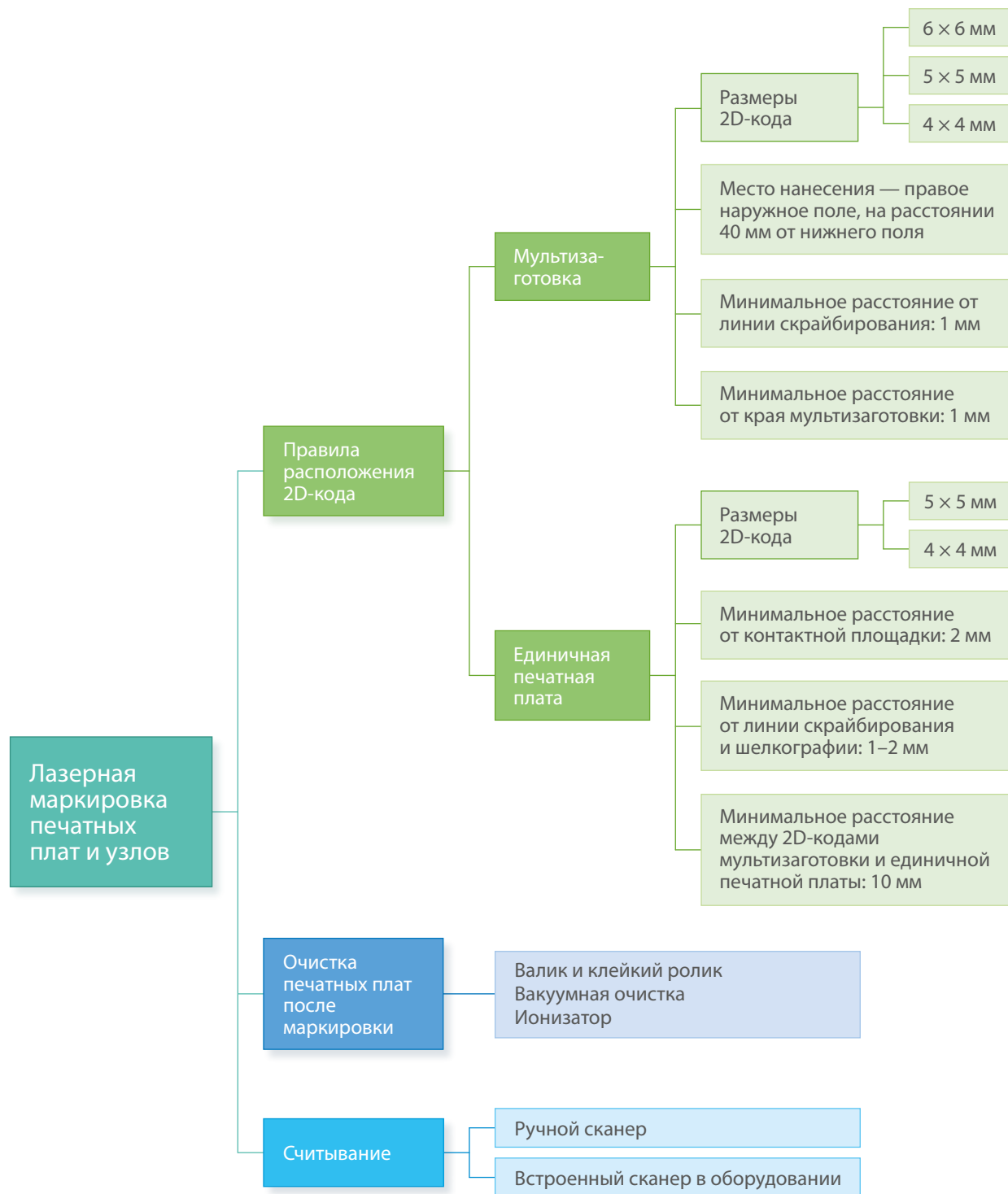
1. **Валика и клейкого ролика** (контактная очистка).
2. **Вакуумной очистки.**
3. **Ионизатора.**

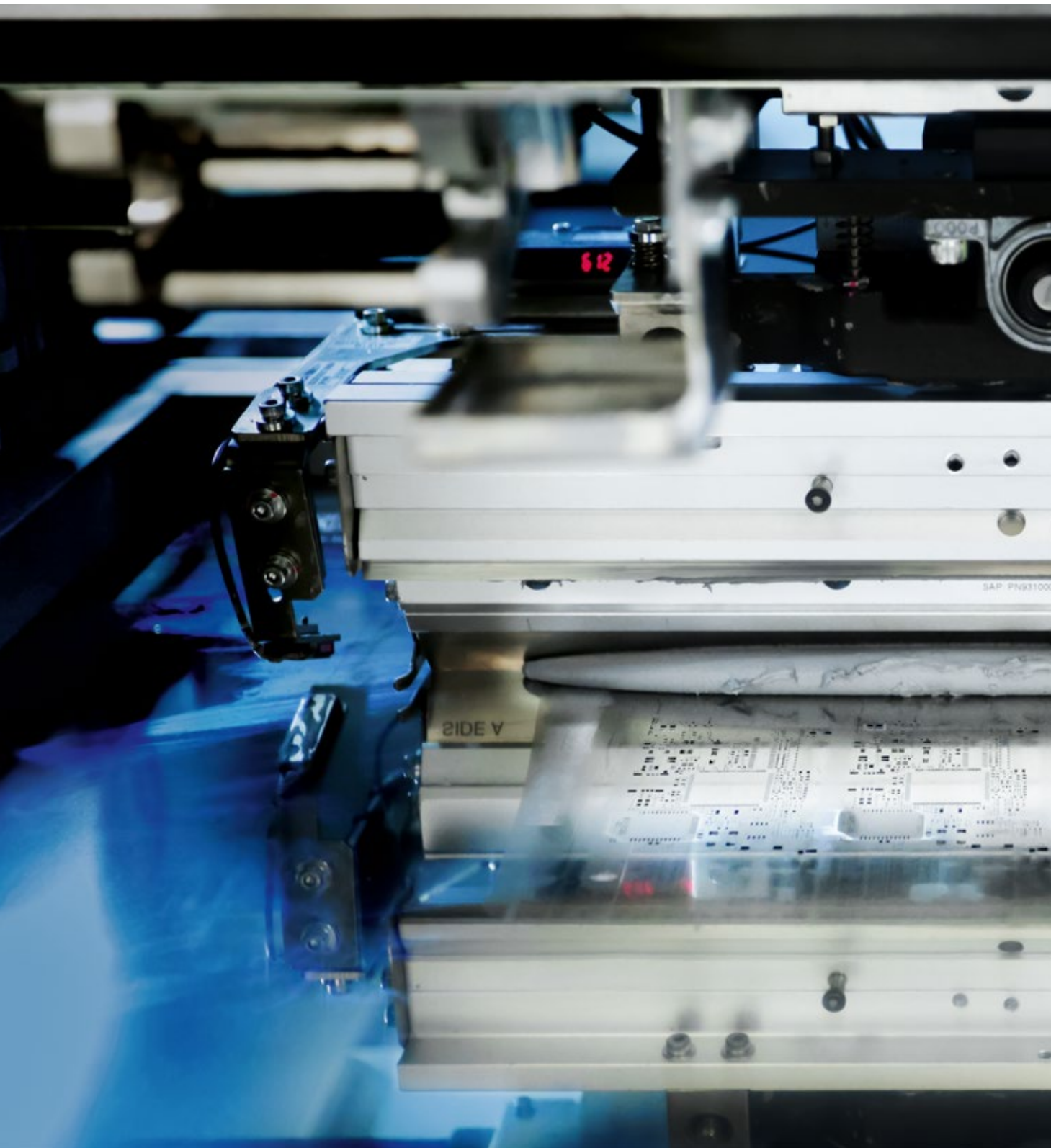
Ионизатор необходим для удаления статического заряда с поверхности печатных плат (подробнее о статическом заряде см. в параграфе 6.3.1).

Через каждые 100 плат валик очищается оператором при помощи безворсовой ткани и спирта, а липкая лента заменяется. Контроль количества плат, прошедших очистку, осуществляется при помощи счетчика в очистителе.



Маркировка печатных плат. Схема-памятка







3

Пастопечать

3.1 Паяльная паста

Паяльная паста используется для монтажа SMD-компонентов на печатную плату.



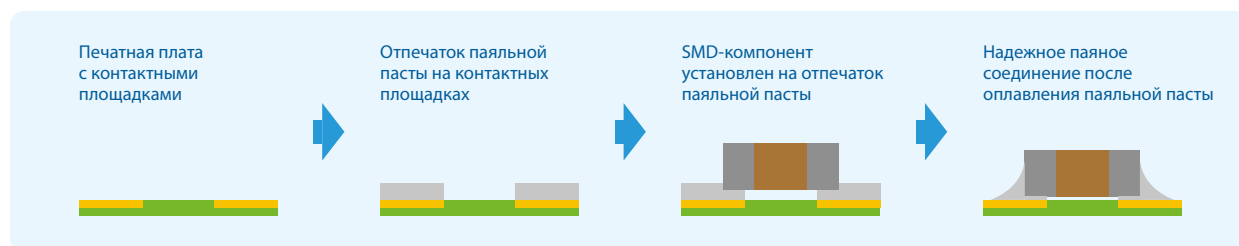
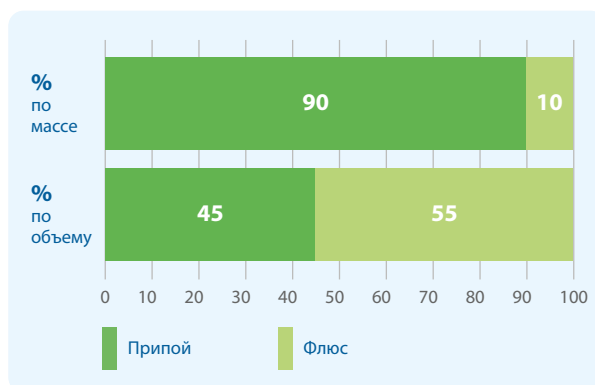
Упаковка паяльной пасты

Паяльная паста наносится на контактные площадки, далее на отпечаток пасты устанавливается SMD-компонент, а затем идет процесс оплавления паяльной пасты в конвекционной конвейерной печи. Результатом процесса оплавления паяльной пасты становится надежное паяное соединение между выводами компонента и контактными площадками.

Паяльная паста состоит из двух ключевых компонентов:

1. Припой.
2. Флюс.

Рекомендуемое содержание припоя в составе паяльной пасты составляет 89–91% по массе. Процентное соотношение флюса и шариков припоя в составе паяльной пасты (точное соотношение указано в технической документации на паяльную пасту):

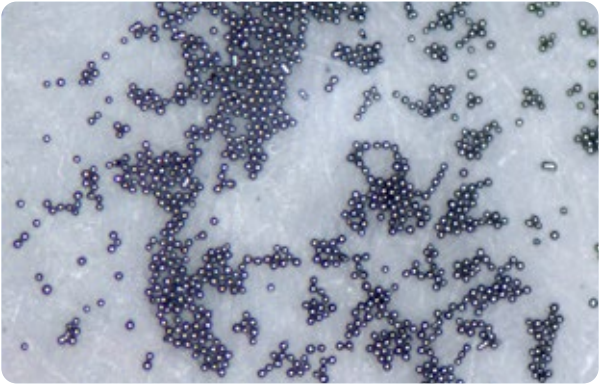


Технологический процесс с использованием паяльной пасты

3.1.1 Припой

Припой — это мягкий сплав металлов, используемый для пайки металлических поверхностей.

В паяльной пасте припой находится в порошкообразном состоянии в форме шариков припоя.



Шарики припоя в паяльной пасте

В зависимости от размеров шариков припоя, в соответствии со стандартом IPC J-STD-005A, паяльные пасты разделяются на несколько типов:

Тип частиц припоя	Диаметр частиц припоя, мкм	Не более 1% частиц с размерами, мкм
Тип 2	45–75	75
Тип 3	25–45	45
Тип 4	20–38	38
Тип 5	15–25	25
Тип 6	5–15	15

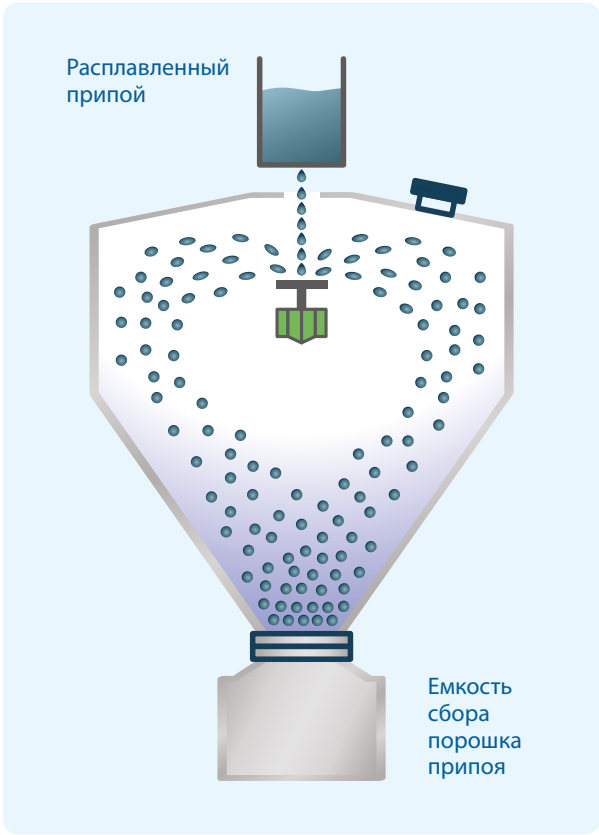


А знаете ли вы способ изготовления шариков припоя?

Шарики припоя производят в камере, заполненной азотом и кислородом. Расплавленный припой капает на вращающийся механизм, при попадании

на который припой приобретает шарообразную форму и успевает затвердеть до соприкосновения со стенками камеры. На распределение размеров частиц припоя и их диаметр влияет скорость разбрызгивания припоя (чем выше скорость, тем меньше диаметр шариков припоя).

Далее шарообразный припой проходит двойную сортировку через сито. На первой стадии шарики сортируют струей азота, при этом отделяются шарики с размерами меньше нужного. Затем припой идет на сито, где задерживаются частицы с размерами, превышающими заданные величины.



Производство шариков припоя

3.1.2 Флюс

Флюс — это многокомпонентная смесь, входящая в состав паяльной пасты. Флюс также используется при селективной, волновой или ручной пайке.

Флюс в составе паяльной пасты выполняет следующие задачи:

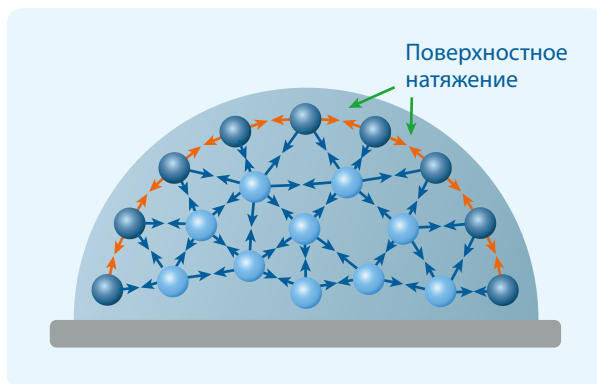
1. Сформировать пастообразную массу из флюса и шариков припоя.
2. Сохранить форму отпечатка пасты после трафаретной печати.
3. Обеспечить клеящие свойства паяльной пасты для фиксации компонентов (после их установки на печатную плату).
4. Снять окислы (молекулы кислорода) с паяемых поверхностей (выводов компонентов и контактных площадок).
5. Помочь выровнять компоненты относительно контактных площадок в процессе оплавления паяльной пасты за счет сил **поверхностного натяжения**.

Поверхностное натяжение — это явление, при котором жидкость стремится приобрести форму с минимальной площадью поверхности.

С явлением поверхностного натяжения жидкости мы сталкиваемся каждый день:

1. Капли воды стремятся принять форму, близкую к шарообразной.
2. Булавка не тонет на поверхности воды.
3. Многие насекомые могут скользить по поверхности воды.

Силы поверхностного натяжения действуют вдоль поверхности жидкости, стремясь сократить



Пример силы поверхностного натяжения

ее площадь. Как будто жидкость заключена в упругую пленку, которая стремится сжать свое содержимое.

Что же происходит с паяльной пастой?

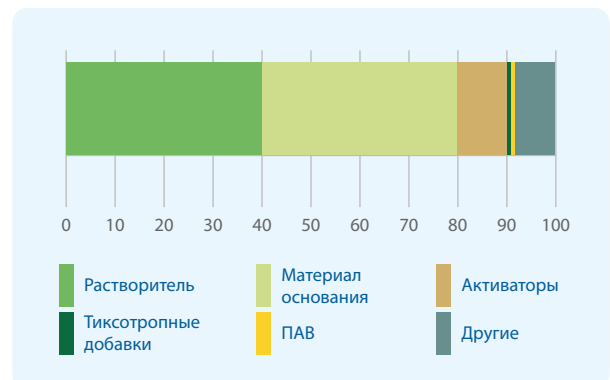
В расплавленном состоянии паста находится в соединении с контактной площадкой и выводом компонента. За счет сил поверхностного натяжения паста «сжимается» (сокращает площадь своей поверхности) и тянет вывод компонента за собой на площадку. За счет этого и происходит выравнивание компонента.

3.1.2.1 Состав флюса

Флюс в своем составе содержит следующие вещества:

1. **Растворители.**
2. **Материал основания:**
 - Канифоль.
 - Синтетические смолы.
 - Органические кислоты.
3. **Активаторы.**
4. **Тиксотропные добавки.**
5. **Поверхностно-активные вещества (ПАВ).**
6. **РАG-масло.**
7. **Ингибиторы коррозии.**
8. **Другие вещества.**

Процентное распределение веществ в составе флюса:

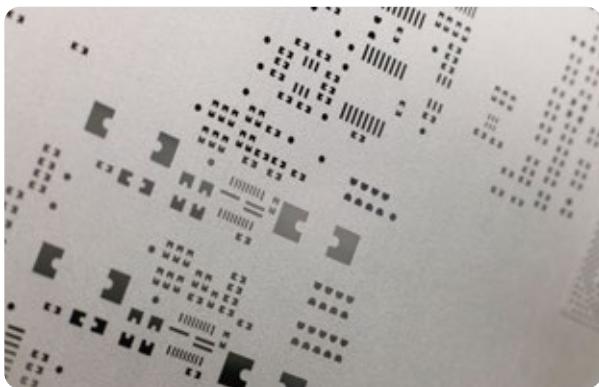


На что влияют составляющие флюса?

Растворители. Отвечают за **время жизни пасты** после нанесения, трение пасты о стенки **апертур трафарета**, стойкость к кипению флюса (разбрызгивание шариков припоя при нагреве).

Время жизни паяльной пасты — это время, в течение которого паяльная паста сохраняет свои свойства (вязкость, структура) после нанесения на печатную плату, а также на трафарете при возникновении технологической паузы в цикле пастопечати.

Апертура трафарета — это технологическое отверстие, через которое паста наносится на контактную площадку печатной платы.



Апертуры трафарета

В состав паяльной пасты входит минимум 2–3 растворителя, которые различаются по температуре кипения:

1. Низкокипящие растворители (150–180 °C).
2. Высококипящие растворители (180–250 °C).

Добавление двух видов растворителей способствует постепенному испарению флюса, которое должно проходить без кипения и брызг.

Большая часть составляющих флюса находится в порошкообразном состоянии, поэтому нужны растворители для образования однородной пластичной структуры паяльной пасты. После пайки растворители улетучиваются.

Материал основания (канифоль, синтетические смолы, органические кислоты). Отвечают за **клейкость** и **вязкость** (текучесть) пасты.

Клейкость — это способность паяльной пасты удерживать компонент на контактных площадках в течение определенного времени.

Вязкость — это параметр, влияющий на растекаемость паяльной пасты. Вязкость влияет на заполнение апертур трафарета, на трение пасты о стенки апертур, что важно для качественного отделения трафарета.

Активаторы (кислоты). Используются для удаления оксидных пленок с поверхности выводов компонентов и контактных площадок, за счет чего повышают **смачиваемость** паяемых поверхностей.

Смачиваемость — это физико-химическое взаимодействие поверхности контактной площадки и вывода компонента с расплавленным припоем. При смачивании жидкий припой растекается по поверхности контактных площадок и выводов электронных компонентов, образуя надежное соединение.

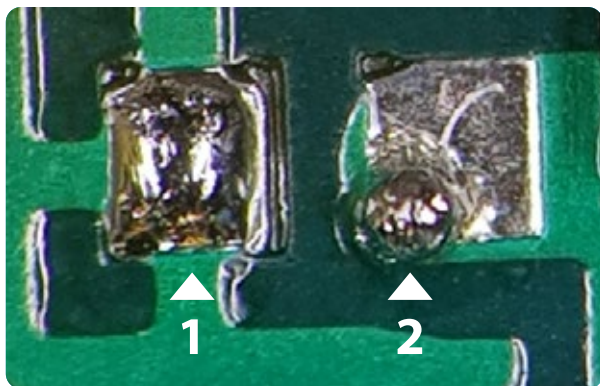
Главный фактор, препятствующий растеканию припоя по контактным поверхностям, — молекулы кислорода. Частицы кислорода находятся в воздухе и быстро оседают на контактных площадках, вступают в реакцию с металлом и образуют на поверхности оксидную пленку. Для удаления оксидных пленок используют активаторы (кислоты).

Почему же тогда происходит несмачивание паяемых поверхностей?

Из-за переизбытка молекул кислорода. То есть если печатные платы или SMD-компоненты содержат на своей поверхности излишний слой влаги (значение, превышающее уровень кислотности флюса) из-за неправильного хранения и/или транспортировки. Соответственно, активная часть флюса сможет удалить только часть оксидной

пленки, а именно из-за этой пленки происходит несмачивание припоя и контактных поверхностей.

Наглядный пример смачивания и несмачивания паяемых поверхностей представлен на фотографии ниже. На контактной площадке 1 припой равномерно растекся по всей площади, то есть произошло смачивание. Теперь посмотрим на контактную площадку 2, на которой видно, что из-за оксидной пленки припой не смог растечься по площадке и образовать контакт, именно поэтому припой за счет сил поверхностного натяжения собрался в шарик. В этом случае отсутствует смачивание между припоем и контактной площадкой.



Смачивание (1) и несмачивание (2) контактных площадок

Тиксотропные добавки — высокомолекулярные органические соединения (температура плавления 50 °С), которые создают каркас (правильную геометрическую форму) отпечатка паяльной пасты на контактной площадке после процесса пастопечати.

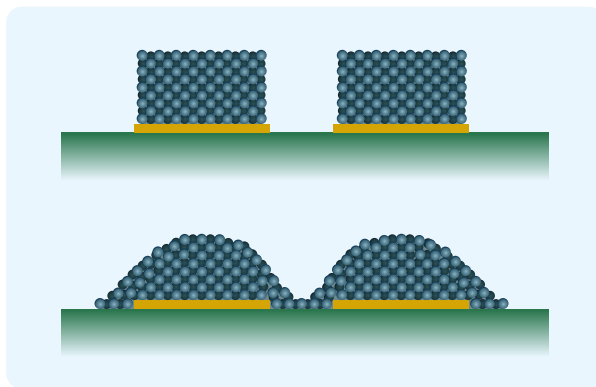
Суть тиксотропии: способность паяльной пасты уменьшать вязкость (разжижаться) при нанесении ее через апертury трафарета на контактные площадки и увеличивать вязкость (густеть) после снятия трафарета.

Почему это так важно?

1. Уменьшение вязкости пасты в процессе пастопечати обеспечивает заполнение апертур трафарета.

2. Эта способность влияет на качество и форму отпечатка пасты в состоянии покоя после трафаретного нанесения.

Без тиксотропных добавок паста осаждается или расплзается вокруг контактных площадок. Последствиями расплзания являются переемы между соседними площадками (в изделии после оплавления это может привести к короткому замыканию).



Отпечаток паяльной пасты с тиксотропными добавками и без

ПАВ (поверхностно-активные вещества) — это химические вещества, которые концентрируясь на поверхности между взаимодействующими материалами, снижают поверхностное натяжение контактирующих веществ. Снижение поверхностного натяжения дает возможность материалам вступить в физико-химические связи, образовать новые молекулярные соединения. За счет этого происходит процесс «сцепки», «связи» компонентов.

То есть ПАВ уменьшает и разрывает силы поверхностного натяжения, чтобы молекулы одного вещества могли соединиться с молекулами другого вещества.

Иногда в состав паст с водосмываемыми флюсами добавляют ПАВ, улучшающие процесс отмывки.

РАГ-масло. Остатки канифоли или смол после процесса оплавления становятся хрупкими и рассыпчатыми. РАГ-масло является пластификатором для остатков канифоли, предотвращая их осыпание после стадии охлаждения в печи.

PAG-масло снижает силу трения **ракеля** по трафарету и устойчиво к температурам (не разлагается и не разрушается).

Ракель — это инструмент, предназначенный для трафаретной пастопечати (более подробно см. в параграфе 3.3.5).

Также во флюс добавляют **ингибиторы коррозии**, которые нейтрализуют активные остатки флюса (образуют защитную пленку) после процесса пайки, препятствуя окислению паяного соединения и образованию продуктов коррозии.

Флюсы классифицируются по материалу основания:

1. **Канифоль (Rosin).**

Канифоль — твердая природная смола. Высокая плотность канифольного флюса снижает вероятность образования шариков и сосулек припоя. Остатки канифольного флюса легко отмываются.

Канифоль способна снимать окислы даже в отсутствие активатора, так как обладает слабыми флюсующими свойствами. Также канифолью покрывают в процессе пайки контактные поверхности для предотвращения повторного окисления.

2. **Синтетические смолы (Resin).**

Остатки низкоактивных синтетических флюсов становятся защитным покрытием паяного соединения и защищают от окисления, но при этом они с трудом поддаются отмывке.

3. **Органические кислоты (Organic).**

Флюсы на органической основе состоят из органических кислот и растворителей. Немногочисленные остатки легко отмываются. Недостатком является быстрое испарение активных компонентов в процессе оплавления, из-за чего может произойти несмачивание припоем контактной площадки или вывода компонента из-за не удаленных молекул кислоты.

3.1.2.2 Активность флюсов

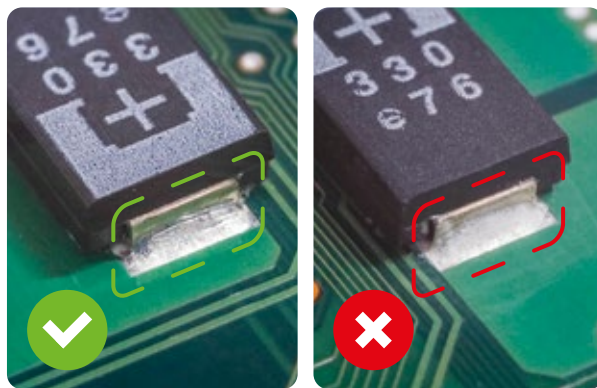
Флюсы разделяются на три уровня активности:

1. **Низкий.**
2. **Средний.**
3. **Высокий.**

Активность флюсов влияет на степень снятия окислов с паяемых поверхностей. Измеряется кислотным числом (мг KOH / г флюса), которое указано в спецификации паяльной пасты.

Чем выше кислотное число, тем больше оксидов будет удалено с паяемых поверхностей. От количества оставшихся оксидов зависит надежность паяного соединения и количество пустот при пайке компонентов с QFN- и BGA-выводами.

Но при этом высокое кислотное число провоцирует коррозию остатков флюса после оплавления, что ведет к разрушению паяного соединения в процессе дальнейшей эксплуатации изделия. Поэтому остатки активного флюса требуют обязательной отмывки.



Паяное соединение без остатков активного флюса и паяное соединение с белыми остатками активного флюса

Из этого следует, что остатки флюса могут быть **водосмываемыми** и **не требующими отмывки**.

Не требуют отмывки остатки флюса с низкой активностью, а остатки флюса со средней и высокой активностью подлежат обязательной отмывке. Отмывку печатной платы необходимо выполнить в течение 72 часов после пайки.

3.1.2.3 Международная классификация флюсов

Классификация флюсов по типу основания и активности представлена в международном стандарте IPC J-STD-004B (см. таблицу ниже). В каждую группу входит по шесть типов флюса, отличающихся уровнем активности.

Тип флюса обозначается четырехзначным буквенно-цифровым кодом.

Первые две буквы этого кода несут информацию о веществе, лежащем в основе флюса:

- 1. RO (Rosin) — канифоль.
- 2. RE (Resin) — синтетические смолы.
- 3. OR (Organic) — органические кислоты.

Третья буква свидетельствует об уровне активности флюса:

- 1. L (Low) — низкий.
- 2. M (Middle) — средний.
- 3. H (High) — высокий.

Четвертый знак — цифра — указывает на наличие **галогенидов**:

- 0 — галогениды отсутствуют.
- 1 — галогениды присутствуют.

Галогениды — это продукты химических реакций галогенов, которые образуются на поверхности паяных соединений. Галогениды являются электролитами (проводят электрический ток), то есть могут вызвать короткое замыкание.

Все флюсы с низкой активностью (L — low) содержат менее 0,5% галогенидов, что, согласно IPC J-STD-004B, является допустимым и не требует отмывки. Если в составе флюса галогенидов больше 0,5%, то остатки флюса подлежат отмывке.

Классификация флюсов по стандарту IPC J-STD-004B

Основа флюса	Уровень активности флюса (содержание галогенидов)	Тип флюса	Отмывка остатков флюса
Канифоль / Rosin (RO)	Низкий (0%)	ROL0	Не требуется
	Низкий (<0,5%)	ROL1	Не требуется
	Средний (0%)	ROM0	Требуется
	Средний (0,5–2,0%)	ROM1	Требуется
	Высокий (0%)	ROH0	Требуется
	Высокий (>2%)	ROH1	Требуется
Синтетические смолы / Resin (RE)	Низкий (0%)	REL0	Не требуется
	Низкий (<0,5%)	REL1	Не требуется
	Средний (0%)	REM0	Требуется
	Средний (0,5–2,0%)	REM1	Требуется
	Высокий (0%)	REH0	Требуется
	Высокий (>2%)	REH1	Требуется
Органические кислоты / Organic (OR)	Низкий (0%)	ORL0	Не требуется
	Низкий (<0,5%)	ORL1	Не требуется
	Средний (0%)	ORM0	Требуется
	Средний (0,5–2,0%)	ORM1	Требуется
	Высокий (0%)	ORH0	Требуется
	Высокий (>2%)	ORH1	Требуется

3.1.3 Классификация паяльных паст по типу сплава

Виды паяльных паст:

1. **Свинцовосодержащие пасты**, которые в своем составе содержат олово (61–63% от общей массы), свинец (36–37% от общей массы) и др. элементы.
2. **Бессвинцовые пасты**, в которых нет свинца, а содержатся такие металлы, как олово, висмут, индий, серебро, сурьма.



А знаете ли вы, почему появился бессвинцовый сплав?

Переход и разработка бессвинцовой технологии является вынужденной мерой из-за экологических требований.

В 2016 году был принят Технический регламент Евразийского экономического союза (в который входят Республика Армения, Республика Беларусь, Республика Казахстан, Кыргызская Республика и Российская Федерация) «Об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники и радиоэлектроники».

Суть данного регламента: максимальное содержание свинца не должно превышать 0,1% от общей массы изделия. Причины ограничений: увеличение содержания свинца в почве, сложность утилизации свинцовых отходов.

Одной из первых стабильных бессвинцовых паст стал сплав SAC305 на основе олова (96,5%), серебра (3%) и меди (0,5%).

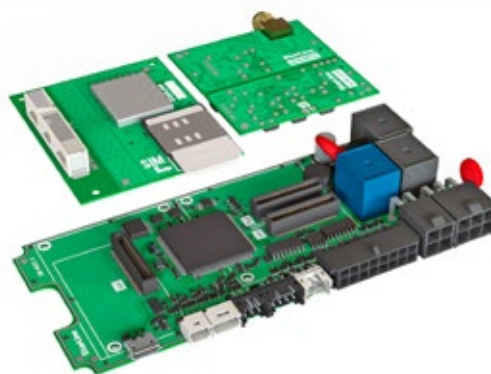
Плюсы и минусы каждого типа сплавов:

Технология на основе свинцовосодержащих припоев является изученной и отработанной годами, свинцовая паста гарантирует надежное паяное соединение при пиковой температуре 235 °С и позволяет паять компоненты, которые чувствительны к высокой температуре.

Подтверждает надежность свинцовой пайки

и вышеприведенный регламент, сделав исключения для сфер, использующих электронику ответственного применения, например космические объекты, медицинские изделия и средства измерений, а также в наземном, воздушном и водном транспорте.

Охранно-телематические комплексы НПО Стар-Лайн относятся к электронике ответственного применения, поэтому при производстве используется свинцовая паяльная паста.



Охранно-телематический комплекс StarLine A96

У свинцовых паяльных паст доступная цена по сравнению с бессвинцовыми, так как в состав бессвинцовых припоев входит серебро, которое является дорогостоящим материалом.

Бессвинцовая технология потребует дополнительных затрат на переоборудование радиоэлектронных производств (отказ от печей инфракрасного нагрева, наличие паяльных станций с мощностью от 80 ватт), повышение затрат на электроэнергию (температура пайки бессвинцовых сплавов 235–260 °С) и обучение персонала.

Одним из важных отличий свинцовых и бессвинцовых сплавов является температура плавления. Свинцовые пасты относятся к низко-, средне-температурным и оплавляются при температуре 170–190 °С с пиковой (максимальной) температурой 235 °С.

Бессвинцовые пасты относятся к высокотемпературным и оплавляются при температуре 200–220 °С с пиковой (максимальной) температурой 260 °С. Но при этом разработаны и выпущены в массовое производство дорогостоящие низко-

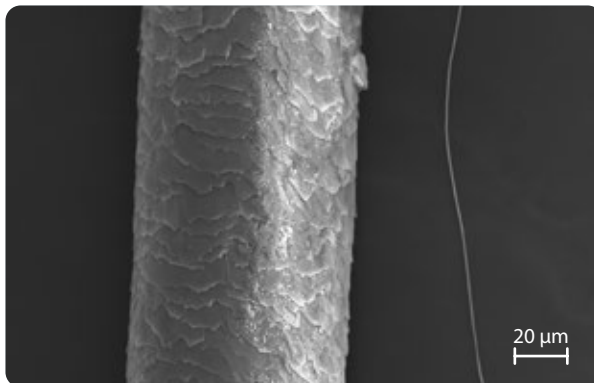
температурные бессвинцовые паяльные пасты с висмутовыми сплавами, которые позволяют паять при пиковой температуре от 138 °С.

Основным компонентом бессвинцовых припоев является олово. При комнатной температуре на оловянном покрытии, нанесенном на медную площадку, самопроизвольно образуются нитевидные кристаллы, которые еще называют «оловянные усы». Скорость роста кристаллов зависит от многих факторов, таких как температура окружающей среды, дефекты и царапины на поверхности, структура материала и толщина покрытия. Образование «оловянных усов» приводит к коротким замыканиям ближайших проводников, что говорит о риске применения бессвинцовых паяльных паст. Многокомпонентные припои позволяют снизить скорость роста, но не исключают появление и рост кристаллов.



А знаете ли вы реальные случаи вреда «оловянных усов»?

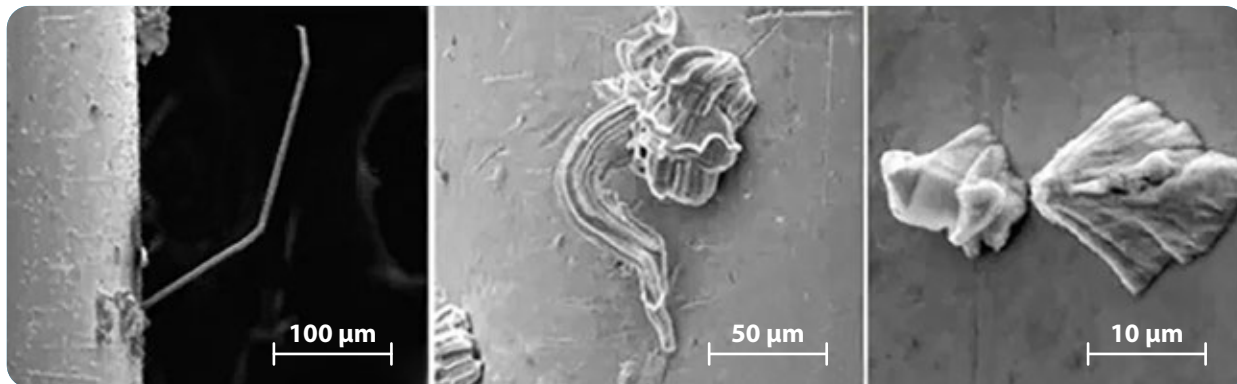
В 2011 году Toyota столкнулась со следующей проблемой: произошел отказ датчика положения педали газа автомобиля Toyota Camry (автомобили произвольно ускорялись и были неконтролируемы). Экспертиза показала, что причиной являются нитевидные кристаллы, которые образовались на поверхности паяных соединений в процессе эксплуатации.



Нитевидный кристалл олова (справа) и человеческий волос



Пример «оловянных усов»



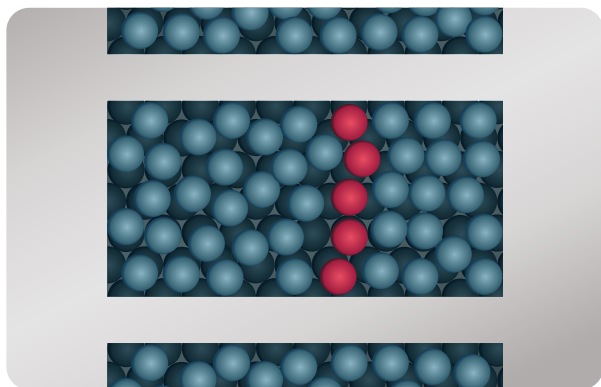
Нитевидные кристаллы олова под микроскопом

3.1.4 Выбор паяльной пасты

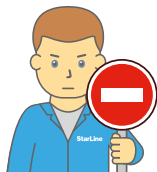
Выбор паяльной пасты для каждого электронного изделия осуществляется по следующим критериям:

1. Размер шариков припоя в составе паяльной пасты.

Правило «5 шариков припоя» — минимальная ширина аперттуры трафарета должна быть равна пяти максимальным диаметрам шариков припоя.



Правило «5 шариков припоя»



Если использовать несоответствующий тип пасты — с шариками припоя большего размера, то аперттура трафарета заполнится частично: образуется дефицит паяльной пасты на контактной площадке.

Следствие: после оплавления не образуется надежное паяное соединение.

2. Свинцовая или бессвинцовая паяльная паста (зависит от требований сборки данного изделия).
3. По степени активности флюса в составе паяльной пасты и необходимости отмывки остатков флюса после пайки.
4. Процентное соотношение флюса и шариков припоя в составе паяльной пасты. Чем больше флюса, тем паста менее вязкая, то есть более

жидкая. Чем меньше флюса, тем паста более вязкая, то есть густая.

3.1.5 Хранение паяльной пасты

Процесс хранения паяльной пасты является одной из стадий работы с материалом, позволяющим гарантировать качество паяного соединения.

Паяльная паста упаковывается производителем в типовые банки, обеспечивающие двойной уровень герметичности при помощи внутреннего клапана и внешней крышки.



Внутренний клапан и внешняя крышка банки паяльной пасты

Система хранения включает все этапы перемещения и хранения паяльной пасты после изготовления. Первый этап — склад производителя, далее транспортировка паяльной пасты до места производства радиоэлектронных изделий и заключительный этап — хранение внутри производства радиоэлектроники.

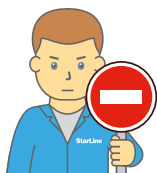


Паяльную пасту необходимо хранить в оригинальной упаковке в промышленных холодильниках при температуре, указанной в технической документации производителя.

Эта температура находится в диапазоне 0–12 °C в зависимости от выбранного производителя.



Промышленный холодильник для хранения паяльной пасты



Нарушение системы хранения ведет к преждевременному запуску физико-химических процессов внутри паяльной пасты или к разрушению ее структуры.

Превышение рекомендуемой температуры пасты (0–12 °C) приводит к сокращению срока годности паяльной пасты и к испарению компонентов из состава флюса.

Понижение температуры пасты (замораживание ниже 0 °C) приводит к тому, что активаторы, содержащиеся во флюсе, отделяются от его состава. Это негативно отразится на характеристиках смачиваемости пасты.

Срок хранения паяльной пасты указывается на каждой упаковке в виде даты производства и даты окончания срока годности, в большинстве случаев составляет 12 месяцев (при соблюдении температурного режима) и зависит от выбранного производителя.



А знаете ли вы о системе GPS-трекеров с беспроводным датчиком температуры?

Существует технология контроля температуры пасты во время транспортировки — это

система GPS-трекера с беспроводным датчиком температуры. Заказчик мобильно может отслеживать местонахождение груза, а также следить за уровнем температуры в промышленных холодильниках.

3.2 Методы нанесения паяльной пасты

Пастопечать — это технологический процесс нанесения паяльной пасты на контактные площадки печатной платы.

Согласно статистике Ассоциации технологий промышленного монтажа (SMTA) качество изделия, собранного на линии SMT, на 74% зависит от соблюдения технологии процесса пастопечати в точном соответствии с рекомендациями поставщика оборудования и поставщика материалов (паяльной пасты).

Пастопечать является фундаментом процесса сборки радиоэлектронного оборудования, как фундамент при строительстве дома. Ошибка в пастопечати, как и ошибка при укладке фундамента дома, приведет к появлению дефектов на следующих этапах SMT-сборки.

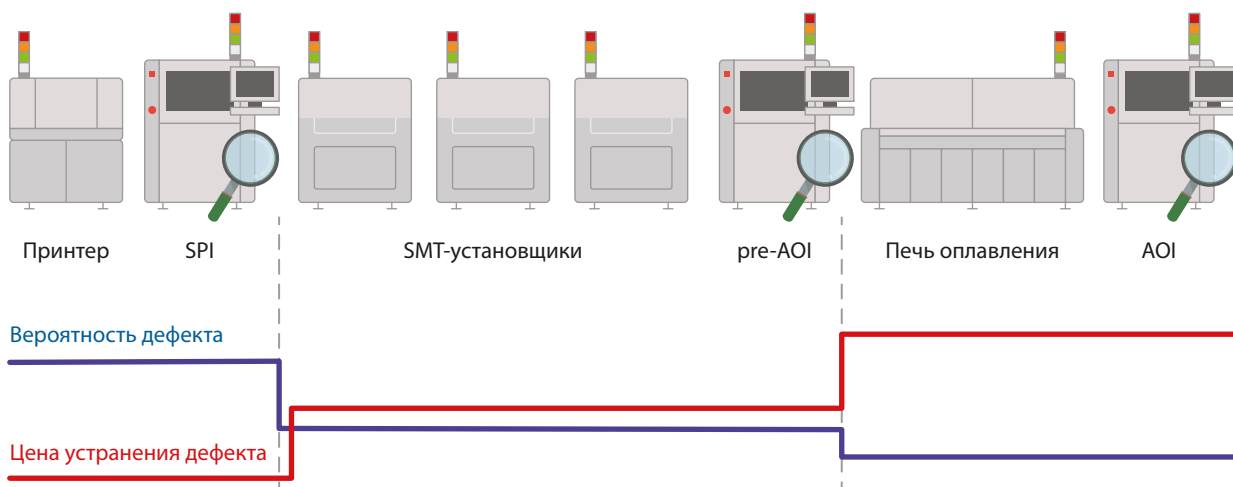


Правило «10-кратных затрат» гласит: затраты на корректировку продукта при пропуске дефекта на первом этапе его жизненного цикла при переходе к следующему этапу увеличиваются в 10 раз.

В настоящее время существует два метода нанесения паяльной пасты на контактные площадки печатной платы:

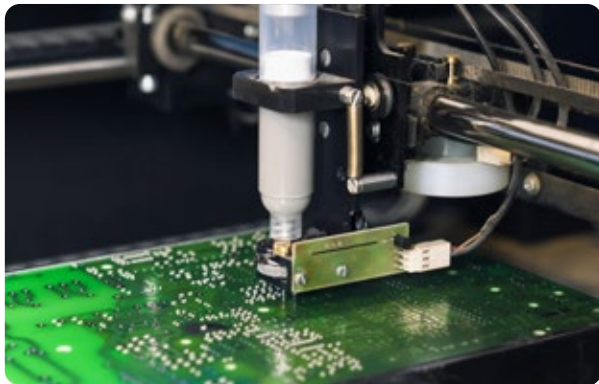
1. **Дозирование.**
2. **Трафаретная печать.**

Дозирование — это нанесение пасты на контактные площадки при помощи дозатора.



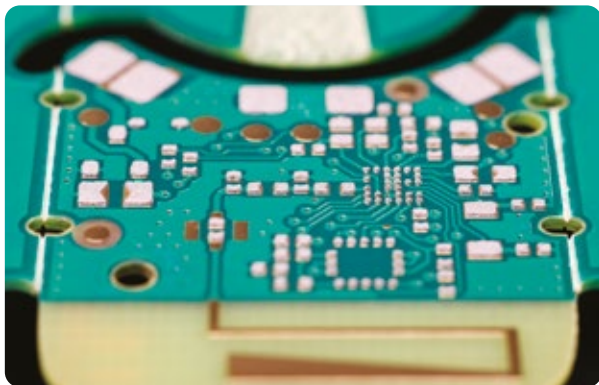
Визуализация правила «10-кратных затрат»

Через дозатор паяльная паста каплями наносится на контактные площадки в соответствии с запрограммированной траекторией. Такой метод нанесения паяльной пасты используется при мелкосерийном производстве изделий, так как цикл нанесения паяльной пасты является времязатратным.



Дозирование паяльной пасты

Трафаретная печать — формирование отпечатка пасты на всех контактных площадках печатной платы за счет продавливания пасты через апертуры трафарета (при помощи ракеля).



Отпечаток паяльной пасты на контактных площадках

Рассмотрим подробнее трафаретную пастопечать, так как эта технология используется в массовом производстве, обеспечивая высокую производительность и повторяемость процесса.

Процесс трафаретной пастопечати базируется на трех основополагающих факторах:

1. **Подготовка принтера и рабочего инструмента.**
2. **Подготовка и использование паяльной пасты.**
3. **Настройка параметров принтера пастопечати.**

3.3 Подготовка принтера и рабочего инструмента

Принтер — оборудование для автоматизированной пастопечати, предназначенное для массового производства.

Принтер выполняет нанесение пасты полностью в автоматическом режиме, включая загрузку/выгрузку печатных плат, точное совмещение трафарета с платой, опускание и проход ракеля, отделение и очистку трафарета.

Принтеры, используемые для пастопечати на производствах НПО СтарЛайн: **Panasonic SPG NM-EJP6A** и **Panasonic SPG2 NM-EJP1B** с точностью пастопечати $\pm 20,0$ мкм.



Принтер Panasonic SPG NM-EJP6A

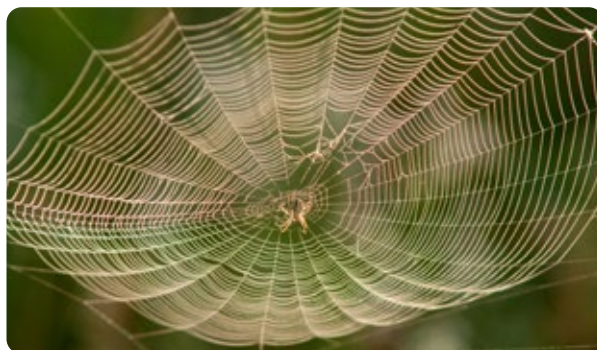
Что значит понятие «точность пастопечати $\pm 20,0$ мкм»?

Это значит, что максимально допустимое смещение отпечатка по оси X или Y составляет 20 мкм при запущенном цикле пастопечати без внесения изменений в процесс.

Точность инструментов, участвующих в процессе пастопечати, должна соответствовать точности принтера для трафаретной печати. От точности оборудования и рабочего инструмента зависит повторяемость процесса и конечный результат.

Что наглядно представляют из себя 20,0 мкм?

Это толщина шелковой нити, или 1/5 толщины человеческого волоса, или толщина двух паутинок.

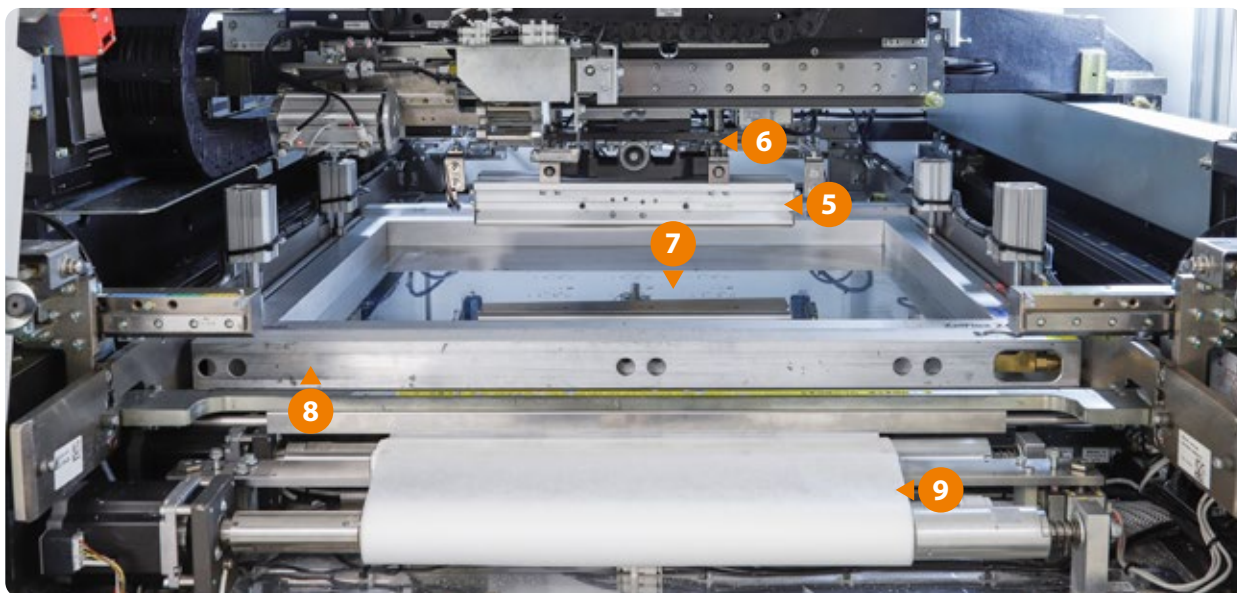
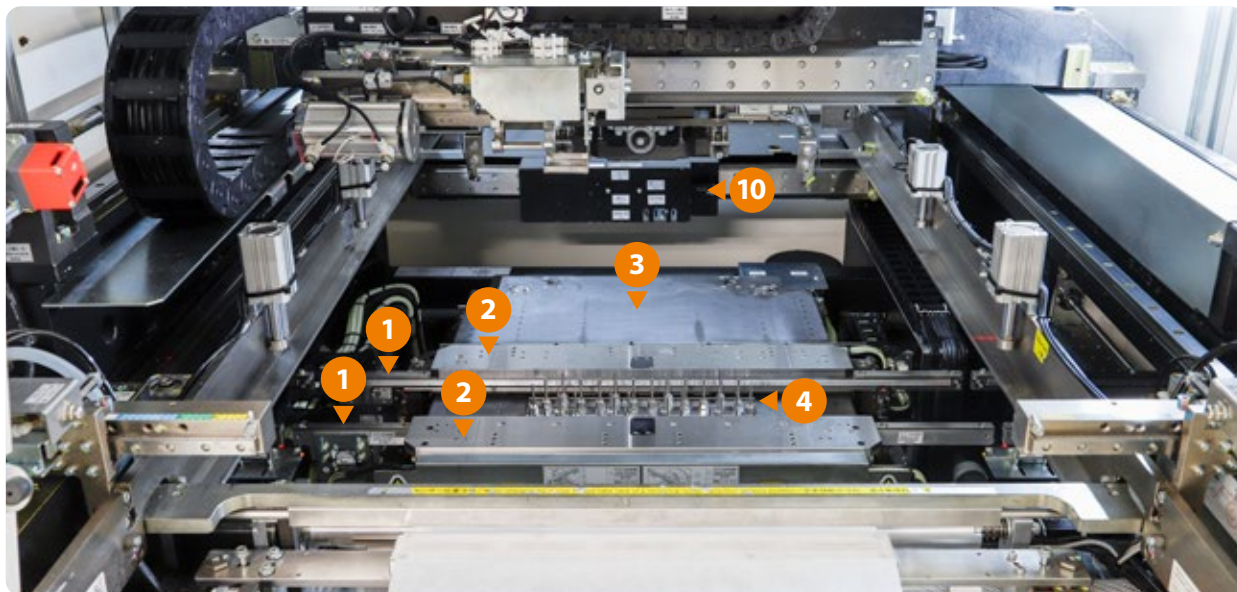


Паутина

Настройка и управление работой принтера осуществляются с помощью встроенного программного обеспечения.

Основные части принтера и рабочие инструменты:

- | | |
|---|---|
| 1 Конвейер для движения печатной платы. | 6 Модуль крепления ракеля. |
| 2 Координатный стол с внешней стороны направляющих. | 7 Трафарет. |
| 3 Подъемник печатной платы. | 8 Рамка трафарета. |
| 4 Поддерживающие пины и бруски. | 9 Модуль очистки трафарета. |
| 5 Ракель. | 10 Модуль распознавания печатной платы. |

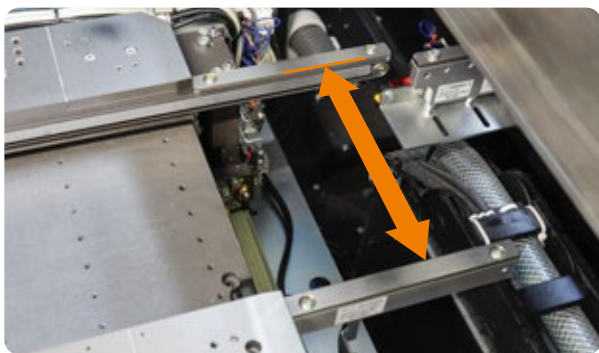


Основные элементы принтера

3.3.1 Конвейер для движения печатной платы (с регулировкой ширины между направляющими)

Конвейер является вспомогательным оборудованием для транспортировки печатных плат.

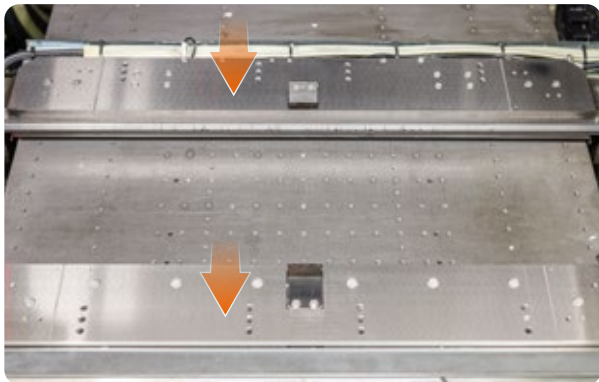
Ширина между направляющими конвейера подбирается программой принтера, исходя из ширины платы, которая указана в данной программе.



Конвейер для движения печатной платы

3.3.2 Координатный стол с внешней стороны направляющих

Стол с двух сторон от направляющих выполняет функцию тисков. Плата заезжает по конвейеру в принтер, далее останавливается (по встроенному датчику наличия печатной платы), а затем тиски фиксируют печатную плату, зажимая ее с двух сторон.



Координатный стол с внешней стороны направляющих

Стол (тиски) подвержен высокой степени загрязнения, это происходит из-за работы системы очистки трафарета.

Очищающий валик проходит с обратной стороны трафарета (сторона соприкосновения трафарета и печатной платы). Паяльная паста остается на бумажном валике, но часть скатывается в тонкую полоску с обратной стороны трафарета в нерабочей зоне (отсутствуют апертуры). В процессе пастопечати трафарет касается стола (тисков), и тонкая полоска остатков паяльной пасты отпечатывается на поверхности тисков.



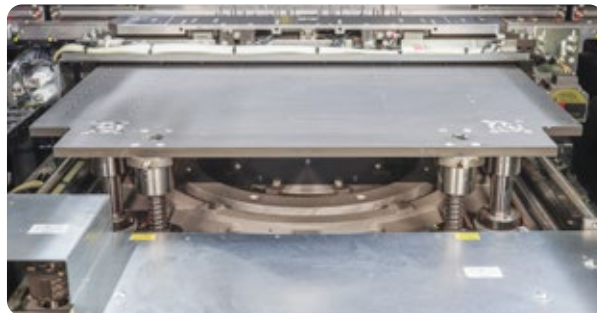
Стол должен содержаться в чистоте, иначе трафарет будет неплотно прилегать к печатной плате.

Регламентирована обязательная проверка чистоты перед началом процесса пастопечати.

3.3.3 Подъемник печатной платы

Подъем печатной платы к трафарету осуществляется в два этапа:

1. Подъем поверхности (стола) с поддерживающими пинами и брусками до печатной платы.
2. Подъем всей конструкции (плата с поддерживающими пинами) вместе с координатным столом с внешней стороны направляющих до плоскости трафарета.

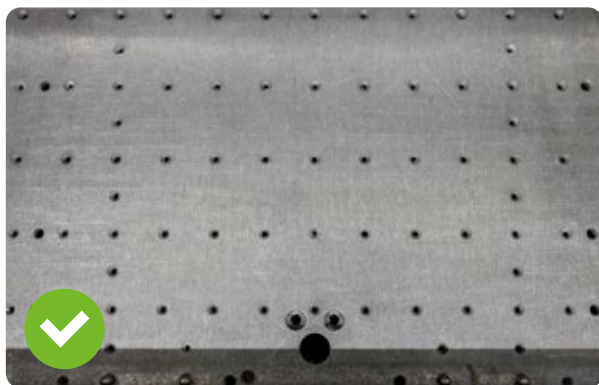


Подъемник печатной платы

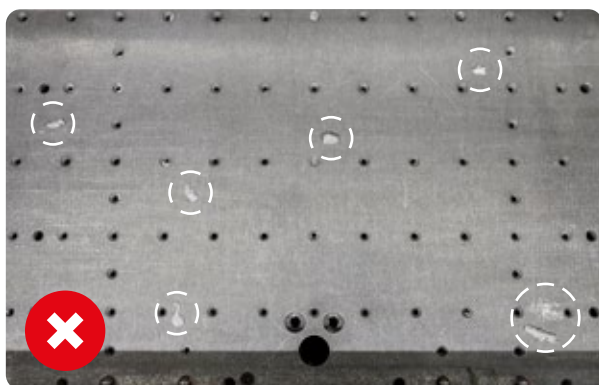


Важным требованием, предъявляемым к подъемной поверхности, является чистота.

Подъемная поверхность должна содержаться в чистоте, на ее плоскости должны отсутствовать остатки паяльной пасты или любой другой посторонний материал. Наличие постороннего материала приводит к неравномерной установке пинов или брусков (по высоте), что ведет к неравномерному заполнению апертур трафарета паяльной пастой.



Чистая поверхность



Грязная поверхность

3.3.4 Поддерживающие пины и бруски

Обеспечение поддержки печатной платы в горизонтальном положении является неотъемлемой частью процесса подготовки.

Цель закрепления платы — зафиксировать печатную плату перед процессом пастопечати и исключить ее деформацию во время печатного цикла.

Поддержка печатной платы в зависимости от стороны сборки выполняется с помощью брусков и пинов.

Бруски — это поддерживающая оснастка для печатной платы в случае одностороннего монтажа (компоненты устанавливаются только с одной стороны платы) или в случае сборки первой стороны изделия.

Использование брусков допустимо, так как на опорной стороне платы отсутствуют компоненты, которые могут быть механически повреждены брусками.



Поддерживающие бруски

Пины — это поддерживающая оснастка для печатной платы, используемая при сборке второй стороны изделия, которая препятствует выгибанию платы в процессе пастопечати (в процессе движения ракеля по поверхности трафарета).

Пины не допускают повреждения компонентов, запаянных на первой стороне печатной платы, так как устанавливаются в промежутках между компонентами.

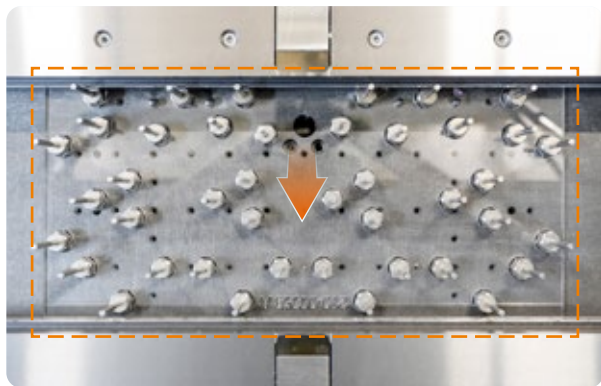


Поддерживающие пины



Плата на поддерживающих пинах

Расстановка пинов проводится с использованием специальных оснасток — **шаблонов**. Использование шаблонов гарантирует точность и быстроту установки.

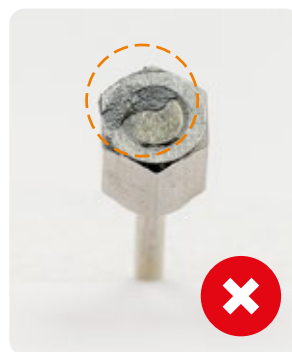
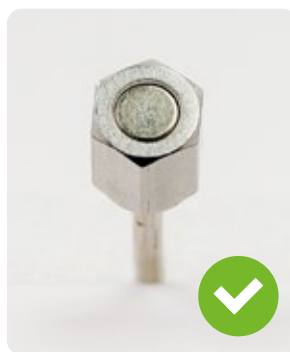


Шаблон для установки пинов



Важными требованиями, предъявляемыми к пинам и брускам, являются высота и чистота.

1. **Высота пинов и брусков**, используемых для поддержки платы, должна быть одинаковой (41 мм) с допуском $\pm 20,0$ мкм (в соответствии с точностью принтера пастопечати). Рекомендуемый цикл замеров высоты пинов и брусков, используемых на производстве, составляет три месяца.
2. **Чистота**. Пины и бруски должны содержаться в чистоте, на их поверхности должны отсутствовать остатки паяльной пасты. Посторонний материал на пинах и брусках увеличивает их высоту. Увеличение высоты (свыше 20,0 мкм) приводит к неравномерной поддержке печатной платы, что ведет к неравномерному заполнению апертуры трафарета паяльной пастой.



Чистый пин и пин с остатками паяльной пасты



Чистый брусок и брусок с остатками паяльной пасты

3.3.5 Ракель

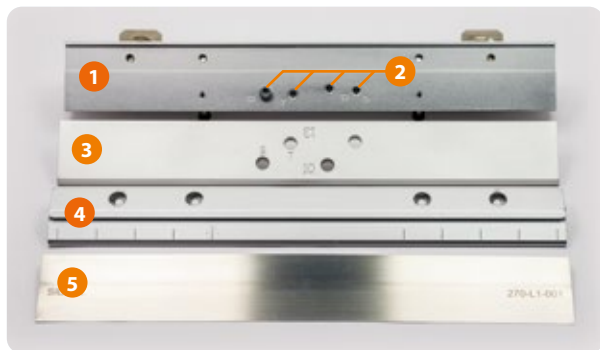
Ракель — это инструмент, предназначенный для трафаретной пастопечати.

Ракель выполняет две задачи:

1. Равномерно нанести паяльную пасту на контактные площадки печатной платы, заполнив апертury трафарета.
2. Удалить остатки паяльной пасты с поверхности трафарета.

Элементы ракеля:

- 1 Держатель лезвия ракеля.
- 2 Отверстия для регулировки вылета.
- 3 Планка, регулирующая вылет ракеля.
- 4 Поддерживающая пластина.
- 5 Лезвие ракеля.



Ракель в разобранном виде



Ракель в собранном виде

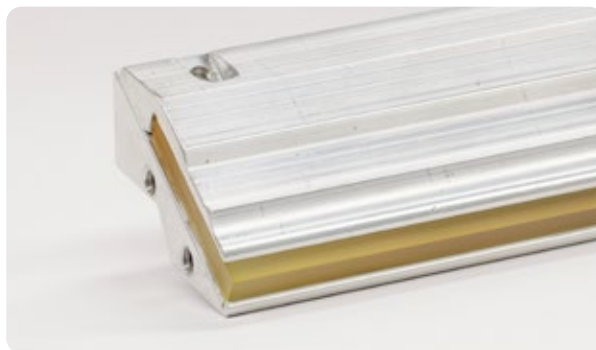
Правила выбора лезвия ракеля

1. **Длина лезвия ракеля:** минимальная длина лезвий ракеля должна быть равна области печати плюс 25 мм, выступающих с каждой стороны.



Выбор длины ракеля

2. **Материал лезвия ракеля:** ракели бывают резиновые (полиуретановые) и металлические.

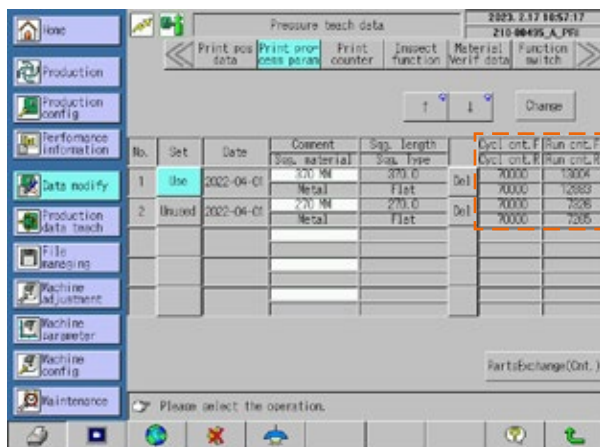


Резиновое лезвие ракеля



Металлическое лезвие ракеля

Отличие металлических ракелей от резиновых — металлические ракели более износостойкие и не захватывают пасту из отверстий апертур. Срок службы металлического лезвия ракеля: 70 000 циклов (проходов) на одной стороне. Контроль количества проходов ракеля осуществляется через встроенный счетчик в принтере пастопечати.



Счетчик прохода лезвия ракеля

3. **Вылет лезвия ракеля.** Вылет лезвия регулирует угол наклона и площадь соприкосновения лезвия ракеля с валиком пасты и трафаретом.

Чем больше вылет (больше расстояние между планкой и лезвием), тем больше площадь соприкосновения и, следовательно, меньшее давление воздействует на апертуры трафарета.

Это утверждение следует из формулы расчета давления:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S},$$

где **P** — давление;

F — сила, с которой тело давит на поверхность, в нашем случае это вес модуля ракеля, умноженный на ускорение свободного падения (**m·g**);

S — площадь соприкосновения.

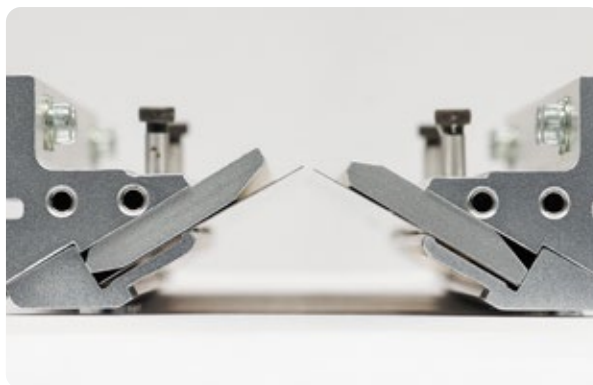


Планки, меняющие вылет ракеля

Вес модуля ракеля не меняется, а меняется только площадь соприкосновения. Следовательно, при увеличении площади давление уменьшается и наоборот.

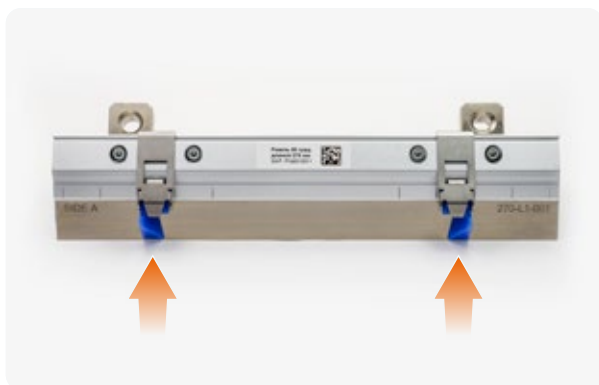
Чем больше вылет лезвия, тем меньше давление и тем больше заполняется апертура трафарета паяльной пастой.

Также большой вылет лезвия ракеля необходим для печатных плат с высокой плотностью монтажа (большое количество контактных площадок, расположенных близко друг к другу).



Вылеты ракеля

Длины лезвия ракеля стандартизированы, поэтому может произойти следующая ситуация: длина (размер) ракеля превышает рабочую зону апертур более чем на 50 мм. В этом случае на рапель устанавливаются ограничители, которые предотвращают растекание пасты по нерабочей области трафарета.



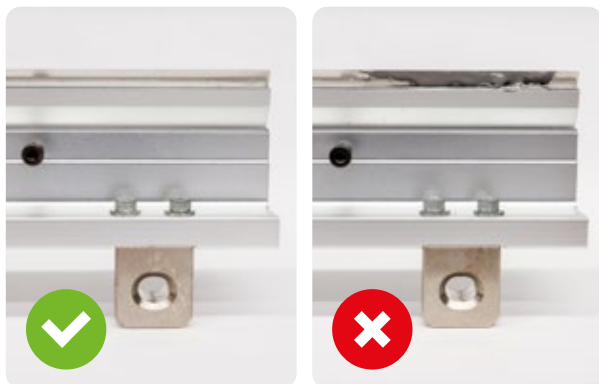
Ограничители ракеля

На производствах НПО СтарЛайн используются металлические ракеля с регулируемым вылетом лезвия и фиксированным углом атаки (наклона) 60°, типоразмер: 270, 370, 480, 530.



Важными требованиями, предъявляемыми к ракелю, являются прямая поверхность лезвия и его чистота.

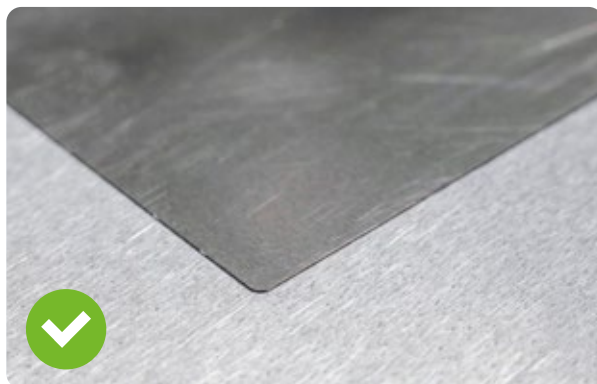
1. **Чистота.** Равномерному скольжению лезвия по поверхности трафарета способствует отсутствие засохших остатков паяльной пасты и постороннего материала.



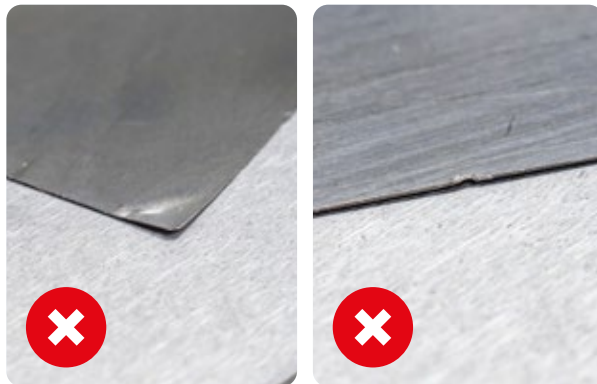
Чистое лезвие и лезвие с остатками паяльной пасты

2. **Прямая поверхность лезвия ракеля.** Для получения качественных отпечатков пасты рабочие кромки ракеля должны быть острыми и прямыми (по аналогии с лез-

вием ножа). При прохождении неровного лезвия ракеля (с заусенцами или заломами) на поверхности трафарета остаются следы (дорожки) паяльной пасты. Паста остается на поверхности трафарета и не заполняет апертуры.



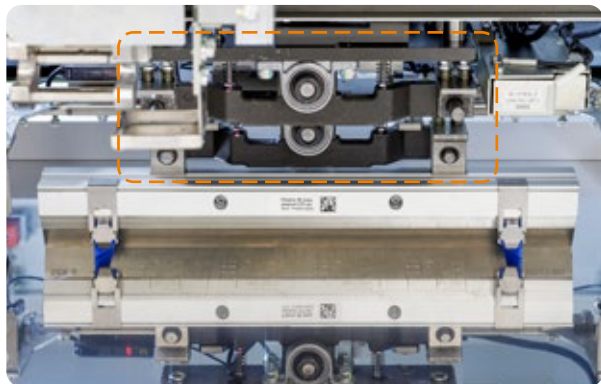
Прямая поверхность лезвия ракеля



Заломы и заусенцы на лезвии ракеля

3.3.6 Модуль крепления ракеля

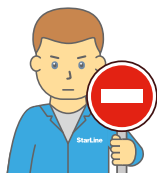
В процессе пастопечати участвуют два ракеля, что позволяет выполнять пастопечать в двух направлениях. Фиксация двух ракелей происходит при помощи модуля крепления.



Модуль крепления ракеля



Ракели должны устанавливаться в модуль крепления до характерного щелчка.



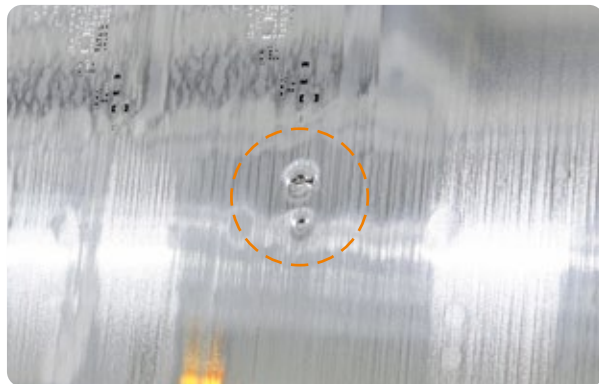
Если не защелкнуть рапель на фиксаторе, то при запуске принтера рапель упадет на поверхность трафарета, и будет выполнена аварийная остановка SMT-сборки изделий.

Последствия: на поверхности трафарета появятся вмятины, царапины или трафарет порвется, а также повредится лезвие ракеля.

Механические повреждения приведут к нарушению рекомендаций по объему и расположению отпечатка паяльной пасты на контактной площадке.



Повреждение трафарета ракелем



Повреждение трафарета ракелем

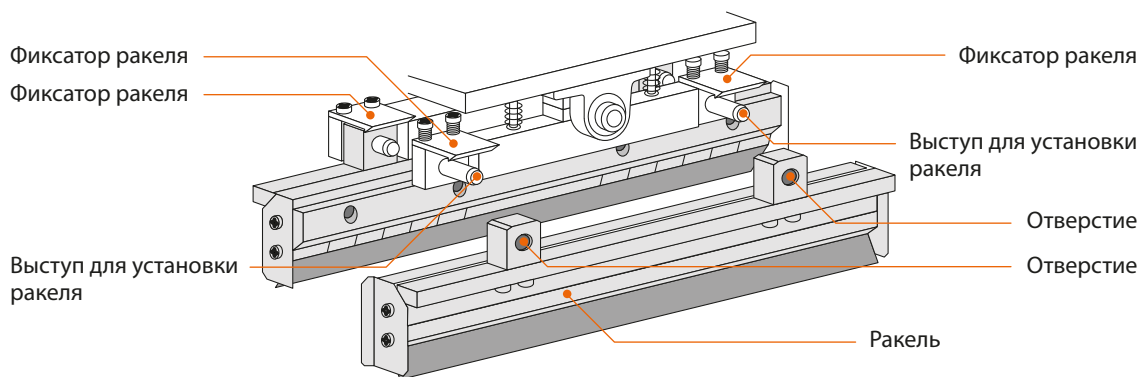
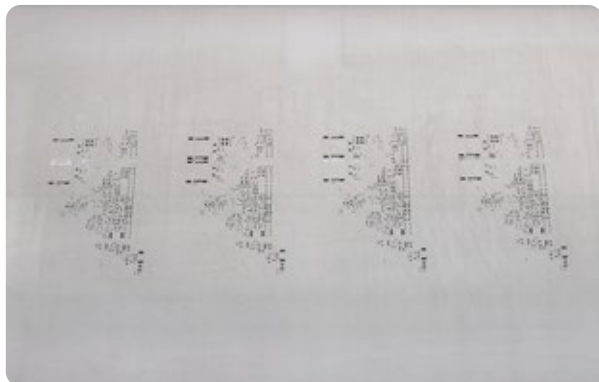


Схема модуля крепления ракеля

3.3.7 Трафарет

Трафарет — технологическая оснастка, применяемая для получения отпечатка (рисунка) паяльной пасты на поверхности контактных площадок.



Трафарет

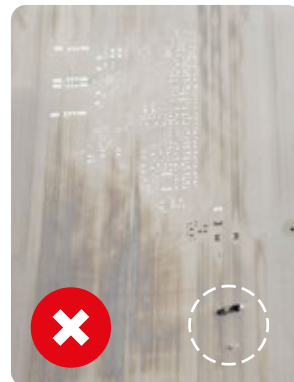
Отпечаток паяльной пасты на поверхности контактных площадок получается в процессе продавливания паяльной пасты через аперттуры трафарета при помощи ракеля.



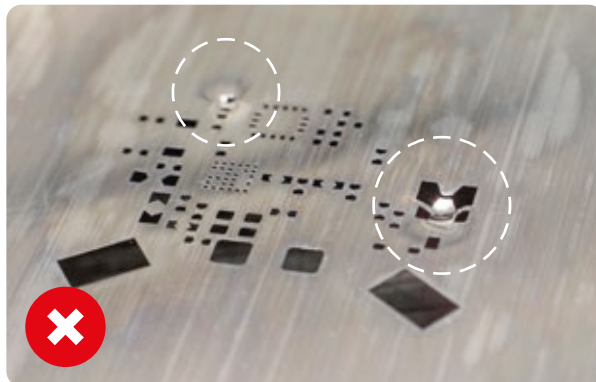
Важными требованиями, предъявляемыми к трафарету, являются чистота и отсутствие на поверхности трафарета царапин, заломов и вмятин.

1. **Чистота.** На поверхности трафарета должны отсутствовать следы остатков паяльной пасты. Чистота обеспечивается за счет отмывки трафарета (в автоматической отмывочной машине) в конце смены, а также за счет обязательной проверки трафарета перед началом процесса пастопечати. В случае загрязнения апертур трафарета в процессе пастопечати осуществляется ручная отмывка при помощи безворсовой бумаги и отмывочной жидкости.
2. **Отсутствие царапин, заломов и вмятин.** Отсутствие повреждений проверяется в начале и в конце сборки с фиксацией замечаний в сопроводительной докумен-

тации. Повреждение трафарета приводит к дефектам пастопечати (неполное заполнение апертур или переизбыток пасты — в зависимости от стороны вмятины, затекание пасты), а также повреждению лезвия ракеля.



Ровный трафарет и трафарет с заломами и вмятинами



Трафарет с заломами и вмятинами

Подробнее о конструировании и изготовлении трафарета см. в главе 4.

3.3.8 Рамка трафарета

Рамка трафарета предназначена для крепления и натяжения трафарета.

Для корректной установки трафарета в рамку необходимо совместить пазы трафарета с пинами рамки, последовательно закрепить планки-фиксаторы.



Рамка трафарета

Натяжение трафарета создается при помощи давления воздуха, который накачивается через штуцер. Согласно рекомендации производителя трафаретной рамки LPKF ZelFlex Z4P, давление воздуха зависит от толщины трафарета. Соотношение представлено в таблице ниже:

Толщина трафарета, мм	Давление, бар
< 0,150	4,0
> 0,150	6,0

Давление внутри рамки трафарета измеряется при помощи манометра. В процессе пастопечати давление внутри рамки необходимо проверять каждые два часа.

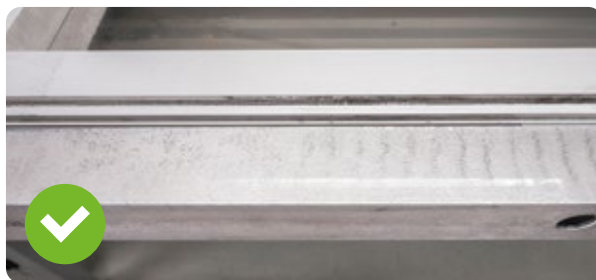


Манометр



Важными требованиями, предъявляемыми к рамке трафарета, являются чистота и плоскостность.

1. **Чистота.** Рамка трафарета должна содержаться в чистоте, на ее поверхности должны отсутствовать остатки паяльной пасты. Посторонний материал увеличивает толщину рамки, из-за чего рамка неплотно прилегает к направляющим.



Чистая рамка трафарета



На поверхности рамки остатки паяльной пасты

2. **Все точки рамки должны находиться в одной плоскости** с максимальным допуском $\pm 20,0$ мкм. Проверка плоскостности осуществляется каждые три месяца при помощи гранитного стола и щупов, проверяющих зазор между рамкой и гранитным столом.



Проверка плоскостности рамки трафарета

3.3.9 Модуль очистки трафарета

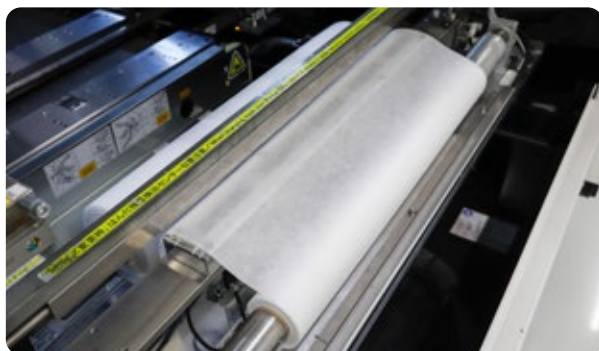
Модуль очистки трафарета осуществляет сухую, вакуумную и влажную очистку обратной стороны трафарета.

Бумага для очистки трафарета впитывает флюс и задерживает частицы припоя во время очистки.

Важно, чтобы чистящая бумага:

1. Не содержала ворса.
2. Имела достаточное расстояние между волокнами для вакуумной очистки.
3. Улавливала частицы припоя и не высвобождала их во время цикла очистки.

Конструкция чистящей головки позволяет поднимать ее к нижней стороне трафарета. Чистящее устройство оснащено держателем для рулона чистящей бумаги, который настроен таким образом, чтобы свежая бумага автоматически подавалась через чистящую головку, а затем использованная бумага сворачивалась во второй рулон.



Модуль очистки трафарета

Стандартный цикл очистки состоит из следующих этапов:

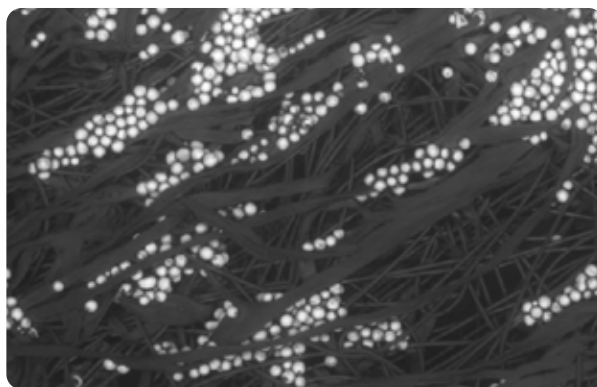
1. Сухая очистка с вакуумом, необходима для удаления остатков паяльной пасты из внутренней части апертур трафарета. По регламенту выполняется два раза.
2. Влажная очистка с использованием чистящего средства.
3. Сухая очистка.

Рассмотрим влажную очистку.

Основная причина использования чистящего средства заключается в том, что частицы припоя удерживаются на поверхности трафарета составляющими флюса.

При влажной очистке осуществляется контролируемая подача очищающей жидкости на поверхность безворсовой бумаги (нетканый материал, который стирает паяльную пасту с поверхности трафарета).

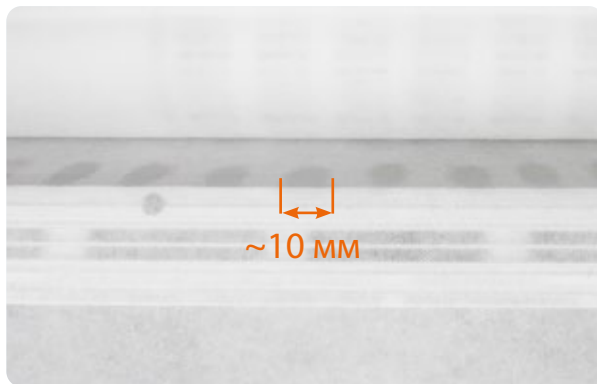
Объем подачи жидкости зависит от типа безворсовой бумаги — ее плотности и способности удерживать паяльную пасту в структуре волокна.



Паяльная паста в структуре безворсовой бумаги

Расход чистящей жидкости подбирается в зависимости от типа бумаги. Методика подбора расхода чистящей жидкости:

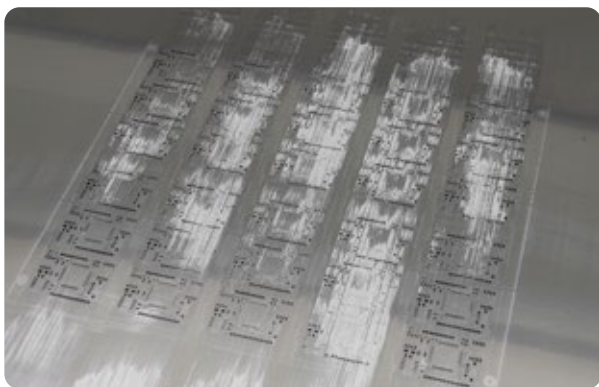
1. Поверхность бумаги слегка смочена после подачи отмывочной жидкости. Диаметр капель приблизительно равен 10 мм.



Диаметр капель

2. Обратная сторона трафарета (сторона, прилегающая к печатной плате) после влажной очистки должна быть зеркальной и сухой.

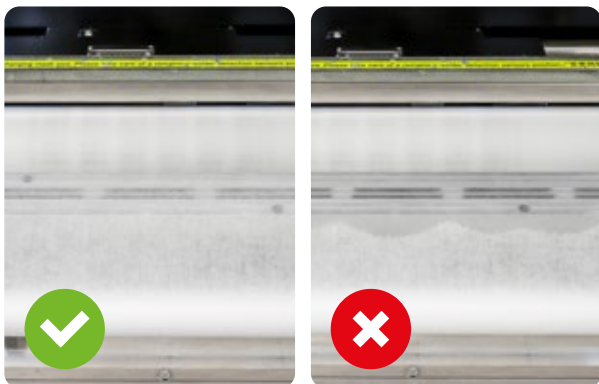
- а) Если после влажной очистки трафарета на обратной стороне трафарета остается шлейф из паяльной пасты, то необходимо увеличить расход отмывочной жидкости.



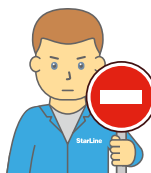
Шлейф паяльной пасты после очистки трафарета

- б) Если после влажной очистки обратная сторона трафарета мокрая (покрыта отмывочной жидкостью), то необходимо уменьшить расход отмывочной жидкости.

3. После возвращения модуля очистки и переворота рулона с безворсовой бумагой новая бумага около планки должна быть сухой. Если бумага мокрая, то необходимо уменьшить расход жидкости.



Сухая и мокрая бумага после переворота рулона



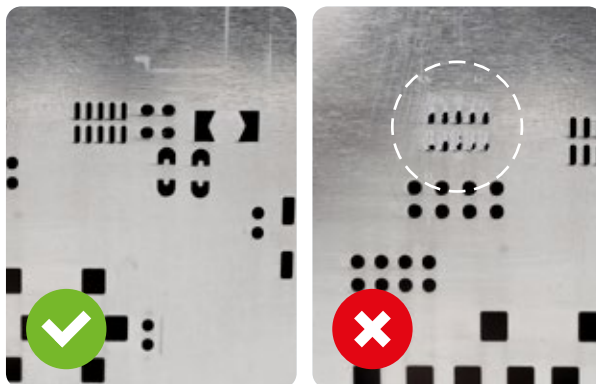
Отклонение от рекомендаций:

1. Из-за избыточной подачи отмывочной жидкости обратная сторона трафарета становится мокрой, и, как следствие, плата прилипает к трафарету. Из-за прилипания произойдет нарушение рекомендации по объему и расположению отпечатка паяльной пасты на контактной площадке.



Размытие отпечатка паяльной пасты из-за избыточного расхода очищающей жидкости

2. Из-за недостаточной подачи жидкости аперттуры трафарета будут забиты паяльной пастой, а обратная сторона трафарета будет в следах паяльной пасты.



Чистые аперттуры и аперттуры, забитые паяльной пастой

Это приведет к нарушению рекомендации по объему отпечатка паяльной пасты на контактных площадках, а также к появлению перемычек и излишков припоя между контактными площадками.

3.3.10 Модуль распознавания печатной платы

Модуль распознавания печатной платы представляет из себя камеру, которая проверяет совмещение реперных знаков печатной платы и трафарета.

При смещении трафарета относительно печатной платы происходит настройка совмещения при помощи модуля распознавания.



Модуль распознавания печатной платы (вид снизу)



Модуль распознавания печатной платы (вид сверху)

3.4 Подготовка и использование паяльной пасты

3.4.1 Подготовка паяльной пасты

Одной из стадий работы с паяльной пастой является стадия подготовки пасты к процессу пастопечати.

Процесс подготовки паяльной пасты

За 4–6 часов до начала использования паяльной пасты необходимо переместить пасту из холодильника в помещение с комнатной температурой (20–25 °C).



Вскрытие банки, согласно рекомендациям производителя, допустимо только после того, как температура внутри банки с паяльной пастой сравняется с внешней температурой (комнатной температурой).

Почему это важно?

Если охлажденную пасту (0–12 °C) открыть при комнатной температуре, то на поверхности пасты появится конденсат (влага), который вызывает окисление шариков припоя внутри пасты, из-за окисления произойдет несмачивание и образование пустот в паяных соединениях. Также влага в паяльной пасте приведет к закипанию, разбрызгиванию флюса и сдвигу компонентов в процессе оплавления.

Если нагреть паяльную пасту выше 25 °C при помощи нагревательных приборов, то это приведет к ускоренному химическому истощению — кислоты и активаторы начинают работать и расходоваться досрочно, снижая тем самым степень активности флюса. Также нагрев приведет к ухудшению качества каркаса отпечатка паяльной пасты (отсутствие симметричности отпечатка пасты) на контактных площадках.

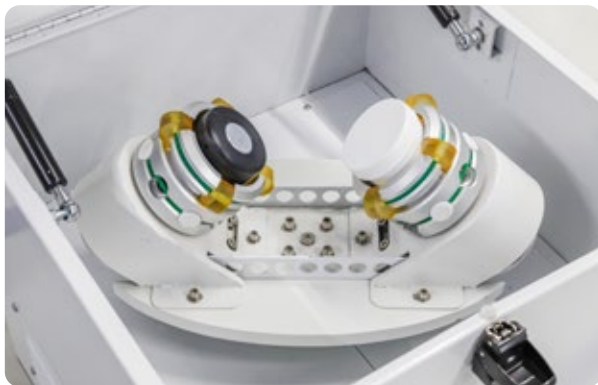
После выдержки паяльной пасты при комнатной температуре необходимо перемешать пасту. Перемешивание выполняется одним из следующих способов:

1. **Ручное перемешивание паяльной пасты при помощи шпателя.** Успешным результатом перемешивания является образование однородной консистенции смеси без следов отделившегося (отслоившегося) флюса.



Ручное перемешивание паяльной пасты при помощи шпателя

2. **Автоматическое перемешивание при помощи миксера.** Перед перемешиванием из банки необходимо извлечь внутренний клапан и закрыть крышку. Подбор параметров перемешивания (время и скорость) происходит при контроле критериев: однородная консистенция и максимальная температура паяльной пасты 24–25 °С.



Автоматическое перемешивание паяльной пасты в миксере

3.4.2 Использование паяльной пасты

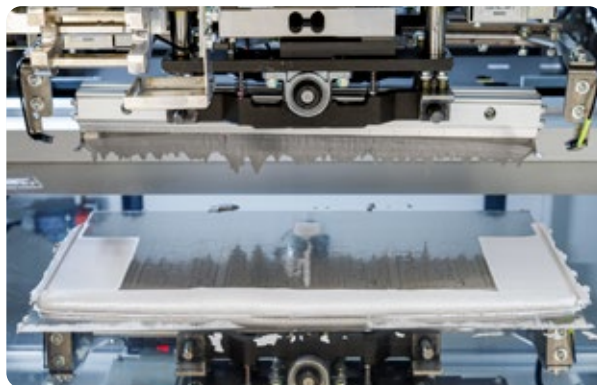
Порядок использования паяльной пасты:

После вскрытия банки, при помощи шпателя извлекается необходимое количество паяльной пасты, затем в банку вставляется защитный клапан, чтобы вытеснить кислород, только после этого закрывается крышка банки.

Герметичность банки необходимо соблюдать для предотвращения окисления шариков припоя в паяльной пасте.

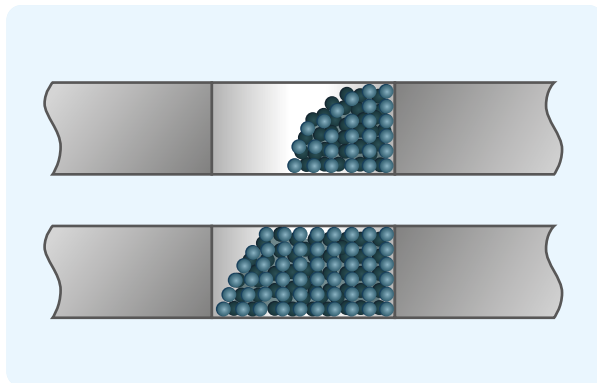


Паяльная паста при помощи шпателя наносится на трафарет и должна образовывать на трафарете валик, высота которого должна находиться в пределах от 12 мм до 18 мм.



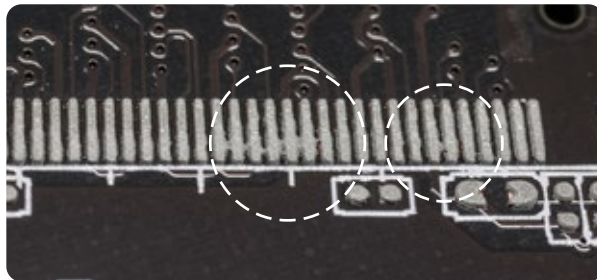
Валик паяльной пасты на трафарете

При недостаточном количестве пасты на трафарете (высота валика менее 12 мм) происходит неполное заполнение апертур трафарета (не образовывается отпечаток пасты, равный объему апертury трафарета).



Неполное заполнение апертury трафарета паяльной пастой

При избыточном количестве пасты (высота валика свыше 18 мм) происходит загрязнение трафарета, что способствует образованию перемычек между контактными площадками.



Перемычка между контактными площадками

Существует два метода автоматического контроля высоты валика пасты:

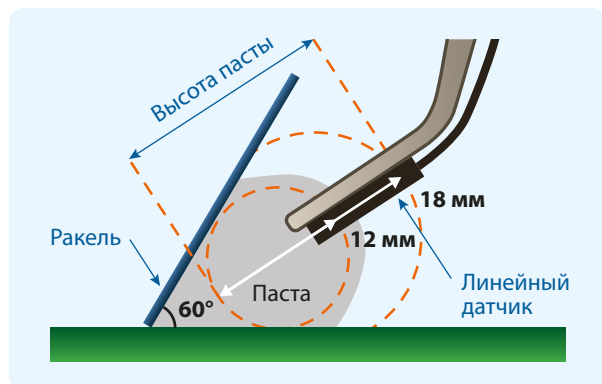
1. При помощи линейных датчиков. При недостаточном количестве пасты (высота валика менее 12 мм) система автоматически уведомит о необходимости добавления паяльной пасты.



Линейные датчики по краям

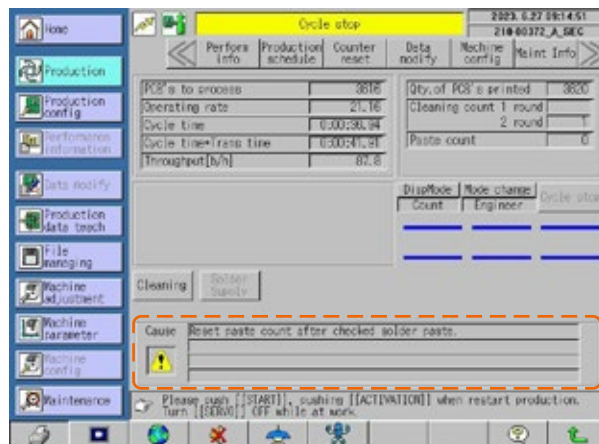


Линейный датчик вблизи



Замер высоты валика линейным датчиком

2. При помощи счетчика в пастопечатном оборудовании (принтере). В программе устанавливается количество проходов печатных плат, через которое оборудование уведомит о необходимости проверки высоты валика паяльной пасты на трафарете.



Уведомление о необходимости проверки высоты валика паяльной пасты

Идеальные условия пастопечати:

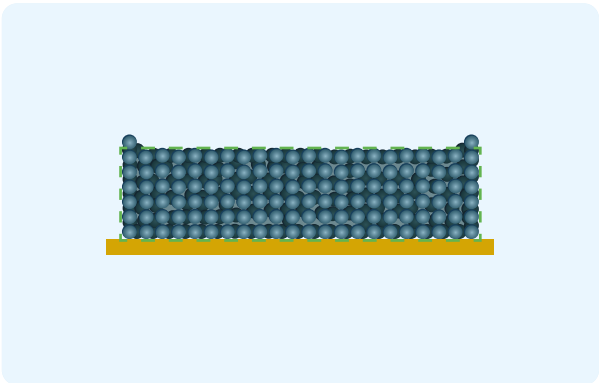
1. Относительная влажность воздуха в помещении 40–50%.
2. Температура в помещении 20–25 °C.

Паяльная паста, прошедшая подготовку к процессу пастопечати, хранится только при комнатной температуре (вне холодильника). Повторное охлаждение пасты приведет к конденсации влаги внутри банки.

Время хранения пасты при температуре 13–22 °C необходимо уточнять в технической документации производителя. Этот срок составляет от одной недели до трех месяцев, в зависимости от выбранного производителя паяльной пасты.

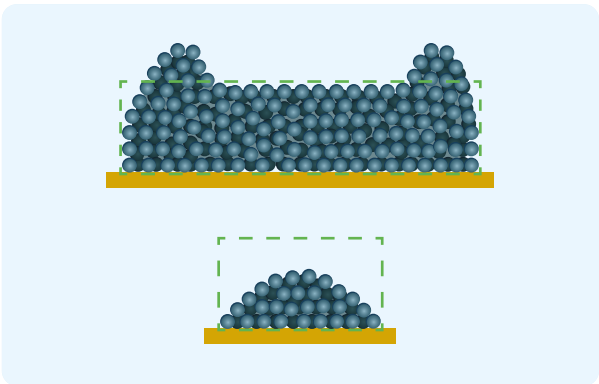
3.5 Настраиваемые параметры принтера пастопечати (Panasonic SPG)

Результатом пастопечати является симметричный отпечаток паяльной пасты, равный объему заполняемой апертуры.



Правильный отпечаток

При некорректной настройке принтера — отпечаток пасты неправильной формы.



Неправильные отпечатки

При подборе параметров пастопечати необходимо соблюдать рекомендации производителя паяльной пасты (Datasheet), а также рекомендации производителя оборудования для пастопечати.

В технической документации паяльной пасты указываются параметры пастопечати для обеспечения заявленных физико-химических характеристик паяльной пасты.

Пример параметров пастопечати из технической документации на паяльную пасту AIM:

Параметр	Рекомендованные значения
Давление ракеля (Pressure)	0,4–0,7 кг / 25 мм
Скорость ракеля (Print speed)	13–152 мм / с
Печатный зазор (Clearance)	0,00 мм
Высота вертикального отделения трафарета (Descent stroke)	0,75–2,0 мм
Скорость вертикального отделения (Descent speed)	3–20 мм / с

Соблюдая рекомендации производителя и выполняя визуальный контроль отпечатка пасты на контактной площадке, выполняется настройка параметров принтера:

1. Давление ракеля (Pressure).
2. Скорость ракеля (Print speed).

3. Высота вертикального отделения трафарета (Descent stroke).
4. Скорость вертикального отделения (Descent speed).
5. Печатный зазор (Clearance).
6. Угол наклона ракеля (Squeegee angle).
7. Очистка трафарета (Cleaning interval).
8. Точность совмещения трафарета.

3.5.1 Давление ракеля (Pressure)

Давление ракеля — это сила прижима лезвия ракеля к поверхности трафарета в процессе пастопечати, измеряется в килограммах на длину ракеля (кг / мм).

Давление ракеля должно обеспечить силу, необходимую для очистки верхней поверхности трафарета до «зеркального» состояния.



Правило подбора давления: давление выставляется от меньшего допустимого значения к большему, результатом правильно подобранного давления является зеркальная поверхность трафарета после прохода ракеля.

Единицы измерения давления в технической документации паяльной пасты (кг / 25 мм длины ракеля или кг/мм длины ракеля) отличаются от единиц измерения в принтере Panasonic SPG (0,01 Н/мм). Поэтому необходимо выполнить перевод единиц по формуле:

$$P_2 = (P_1 \cdot K) / 0,01,$$

где P_2 — давление в принтере (в ньютонах на миллиметр [0,01 Н/мм]);

P_1 — давление в технической документации паяльной пасты [кг/(25мм длины ракеля) или кг/(мм длины ракеля)];

K — коэффициент перевода килограммов в ньютоны: 1 кг $\approx$ 9,8 Н.

Пример расчета:

1. Давление ракеля в технической документации AIM: 0,4–0,7 кг / 25 мм длины ракеля.

$$P_{1\min} = 0,4 \text{ кг} / 25 \text{ мм}, P_{1\max} = 0,7 \text{ кг} / 25 \text{ мм}, K = 9,8 \text{ Н}, L = 25 \text{ мм}.$$

$$P_{2\min} = ((0,4/25) \cdot 9,8) / 0,01 = 15,7 [0,01 \text{ Н/мм}];$$

$$P_{2\max} = ((0,7/25) \cdot 9,8) / 0,01 = 27,5 [0,01 \text{ Н/мм}].$$

Следовательно, допустимый диапазон давления: **15,7–27,5 [0,01 Н/мм]**

2. Давление ракеля в технической документации Indium: 0,018–0,027 кг / мм длины ракеля.

$$P_{1\min} = 0,018 \text{ кг/мм}, P_{1\max} = 0,027 \text{ кг/мм}, K = 9,8 \text{ Н}, L = 1 \text{ мм}.$$

$$P_{2\min} = (0,018 \cdot 9,8) / 0,01 = 17,7 [0,01 \text{ Н/мм}];$$

$$P_{2\max} = (0,027 \cdot 9,8) / 0,01 = 26,5 [0,01 \text{ Н/мм}].$$

Следовательно, допустимый диапазон давления: **17,7–26,5 [0,01 Н/мм]**.

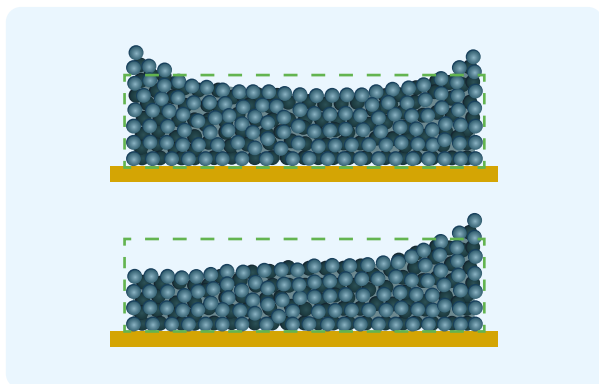
Дефекты, возникающие из-за некорректной настройки давления ракеля:

1. **При недостаточном давлении ракеля** (маленькая сила прижима) на поверхности трафарета будут оставаться следы паяльной пасты.



Следы паяльной пасты из-за недостаточного давления ракеля

2. **При высоком давлении** (высокая сила прижима) ракель вычерпывает часть паяльной пасты из аперттуры трафарета, из-за чего уменьшается объем отпечатка паяльной пасты. Также при высоком давлении быстрее изнашивается трафарет.



Вычерпывание паяльной пасты из аперттуры трафарета

3.5.2 Скорость ракеля (Print speed)

Скорость ракеля — это скорость движения инструмента во время цикла трафаретной печати, измеряется в миллиметрах в секунду (мм/с).

Скорость ракеля влияет на вязкость паяльной пасты. За счет сил трения между ракелем и трафаретом вязкость пасты уменьшается (паста становится более жидкой), что позволяет полностью заполнить аперттуры трафарета.

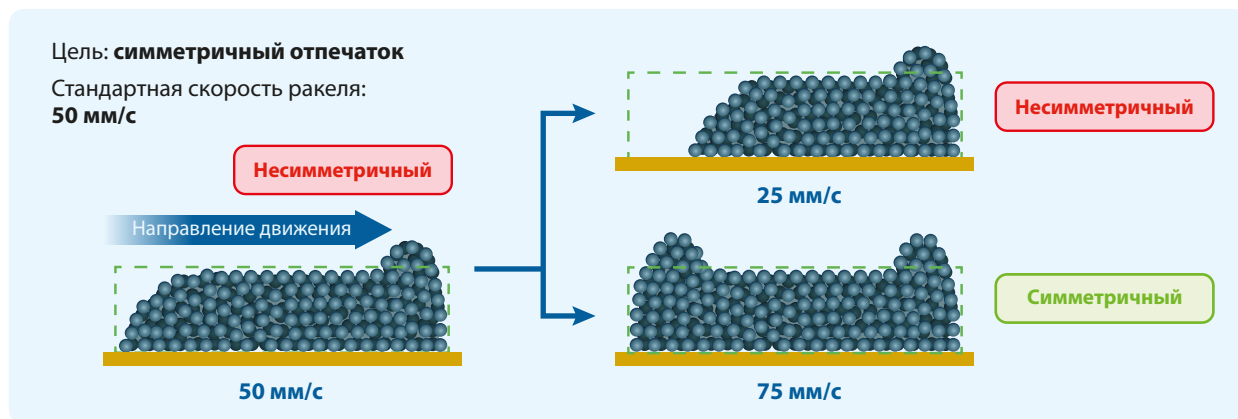


Правильно выбранная скорость гарантирует симметричность правой и левой части отпечатка паяльной пасты на контактной площадке.

Скорость ракеля прямо пропорциональна давлению ракеля. Чем больше скорость ракеля, тем выше давление ракеля, которое необходимо для качественной трафаретной печати. При большой скорости, после прохождения ракеля, на трафарете будут оставаться следы пасты, которые необходимо удалить, увеличив давление ракеля.

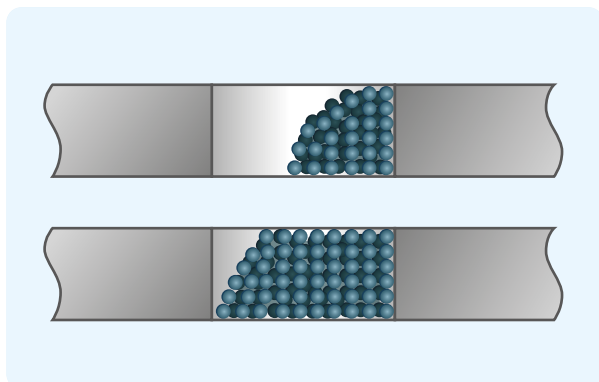
Дефекты, возникающие из-за некорректной настройки скорости ракеля:

1. **Превышение рекомендованной скорости** и давления ракеля влечет за собой увеличение температуры на поверхности ракеля и трафарета. Следствием является критичное снижение вязкости пасты, что приводит к таким проблемам, как оползание пасты, растекание пасты под трафаретом или образование перемычек между контактными площадками. Кроме того, высокая скорость печати повышает скорость износа лезвий ракеля и трафарета, что приводит к смещению места подачи пасты или к подаче недостаточного или избыточного количества пасты.



Пример влияния скорости ракеля на симметричность отпечатка паяльной пасты

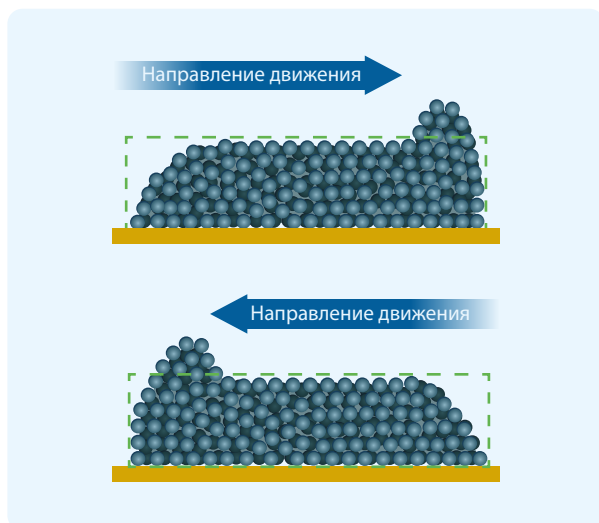
2. Из-за низкой скорости происходит частичное заполнение апертур.



Частично заполненные апертуры



При визуальном контроле отпечатка пасты необходимо помнить, что заполнение апертур идет от противоположной стенки апертуры трафарета по ходу движения ракеля. Это правило поможет правильно производить корректировку параметров пастопечати.

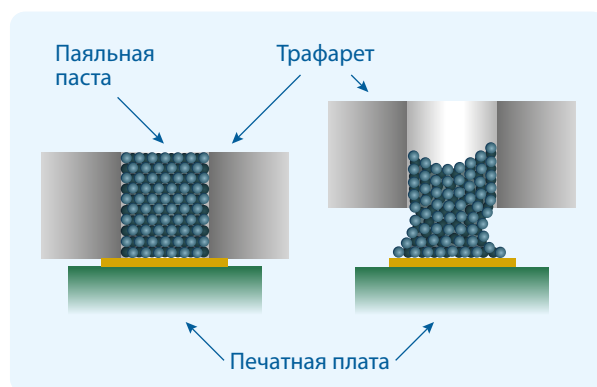


Вид отпечатка паяльной пасты в зависимости от направления движения ракеля

3.5.3 Высота вертикального отделения трафарета (Descent stroke)

Высота вертикального отделения трафарета — это настраиваемое вертикальное расстояние, на которое опускается печатная плата от трафарета после окончания нанесения паяльной пасты, указывается в миллиметрах (мм).

Данный параметр позволяет контролировать форму отпечатка паяльной пасты и очистку апертур трафарета от паяльной пасты (удаление пасты из апертур трафарета).



Отпечаток паяльной пасты: 1) до отрыва трафарета; 2) после отрыва на высоту, меньшую толщины трафарета

Если высота отделения будет недостаточной (меньше толщины трафарета), то паяльная паста из-за своей вязкости продолжит «держаться» за стенки апертур, из-за чего отпечаток паяльной пасты будет несимметричным.

3.5.4 Скорость вертикального отделения (Descent speed)

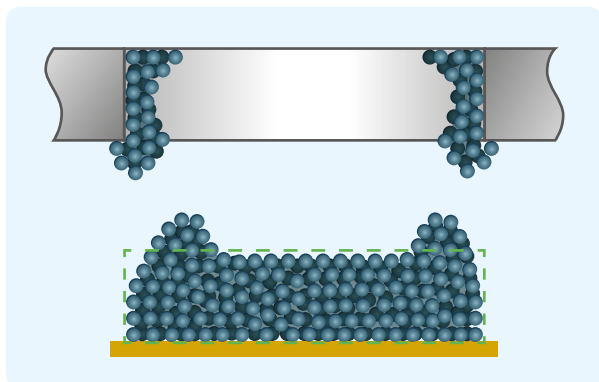
Скорость вертикального отделения — это настраиваемое вертикальное расстояние, на которое опускается печатная плата от трафарета после окончания нанесения паяльной пасты, указывается в миллиметрах (мм).



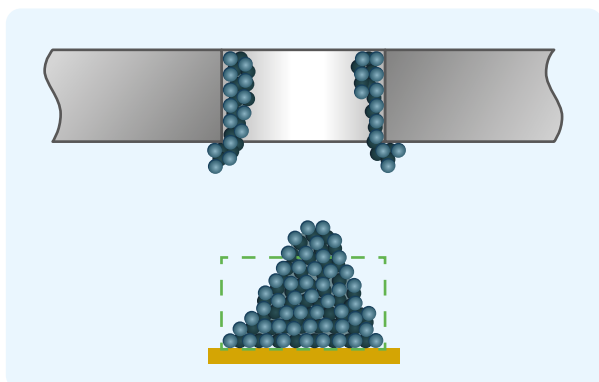
Скорость отделения обеспечивает разделение паяльной пасты от апертур трафарета и отвечает за формирование отпечатка паяльной пасты по форме и объему апертуры трафарета.

Дефекты, возникающие из-за некорректной настройки вертикального отделения платы от трафарета:

1. **Низкая скорость отделения** может привести к образованию таких дефектов, как «собачьи уши», пики, засорению апертур трафарета или неравномерному отпечатку паяльной пасты.

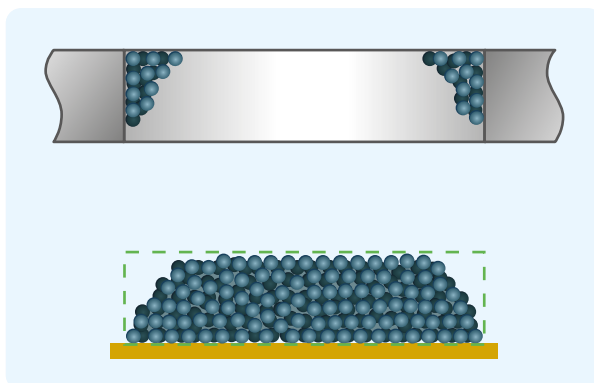


«Собачьи уши» и засорение апертур трафарета

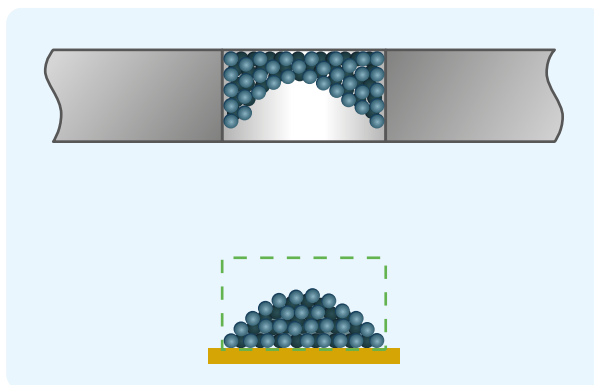


Пики и засорение апертур трафарета

2. **Высокая скорость отделения** приводит к тому, что при отрыве паяльная паста остается на стенках апертур трафарета.



Засорение апертур трафарета



Засорение апертур трафарета

3.5.5 Печатный зазор (Clearance)

Печатный зазор — это регулируемое расстояние между печатной платой и нижней стороной трафарета в процессе нанесения паяльной пасты, измеряется в миллиметрах (мм).



Результат корректной настройки печатного зазора: печатная плата и трафарет должны едва соприкасаться друг с другом.

Правильно настроенный печатный зазор обеспечивает высоту отпечатка паяльной пасты, равную толщине трафарета.

Дефекты, возникающие из-за некорректной настройки печатного зазора:

1. **При отсутствии контакта между печатной платой и трафаретом** образуются перемычки, вызванные растеканием пасты под трафарет.
2. **При вдавливании трафарета в печатную плату** происходит износ ракеля и растяжение трафарета.

3.5.6 Угол наклона ракеля (Squeegee angle)

Угол наклона ракеля является стандартной величиной и составляет 60°.



Угол наклона ракеля

3.5.7 Очистка трафарета (Cleaning interval)

Для сохранения и поддержания качества отпечатка паяльной пасты необходимо производить регулярную очистку трафарета с нижней стороны.

Очистка трафарета с обратной стороны производится автоматически с использованием:

1. **Отмывочной жидкости.** Для очистки используются специальные отмывочные жидкости, которые не вступают в химические реакции с составом паяльной пасты.

2. **Безворсовой бумаги.** Ворсинки и другие частицы, оставляемые обычной бумагой, забивают апертury трафарета или препятствуют плотному совмещению трафарета и печатной платы.

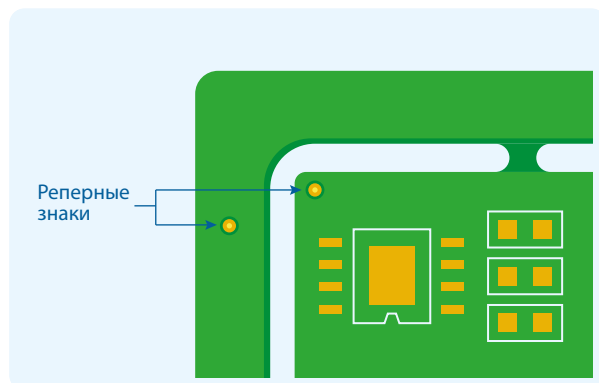
Из-за недостаточной очистки в процессе печати могут закупориваться апертury трафарета, что приводит к образованию перемычек и шариков припоя в процессе пайки, также закупоренные апертury ухудшают форму и стабильность отпечатков паяльной пасты и приводят к уменьшению объема пасты на контактных площадках.

3.5.8 Точность совмещения трафарета

Точность совмещения трафарета и печатной платы влияет на формирование отпечатка паяльной пасты на контактной площадке.

Точность совмещения гарантируется **реперными знаками** на трафарете и печатной плате. Принтер оснащен функцией проверки совмещения и корректировки расположения трафарета относительно печатной платы.

Реперный знак (Fiducial) — геометрический элемент на поверхности печатной платы или трафарета, служащий для позиционирования (повышения точности совмещения) одного относительно другого.

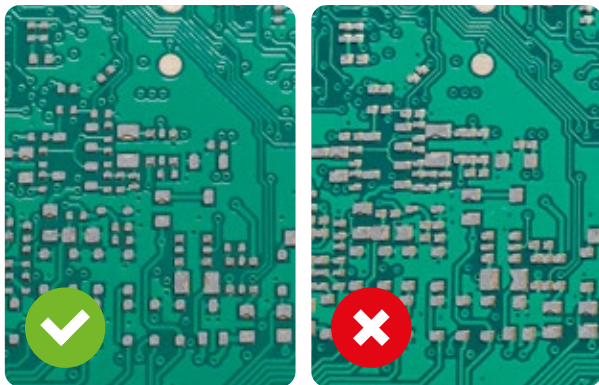


Реперные знаки на мультизаготовке и единичной печатной плате



Реперный знак на трафарете

Если координаты реперных знаков печатной платы и трафарета не будут соотнесены, то паста будет наноситься не только на контактные площадки, но и на участки, закрытые защитной паяльной маской. В результате возникнут перемычки между контактными площадками или не образуется паяное соединение из-за недостаточного объема пасты на контактных площадках.



Ровный отпечаток паяльной пасты и отпечаток паяльной пасты со смещением относительно площадок

3.6 Порядок настройки параметров пастопечати

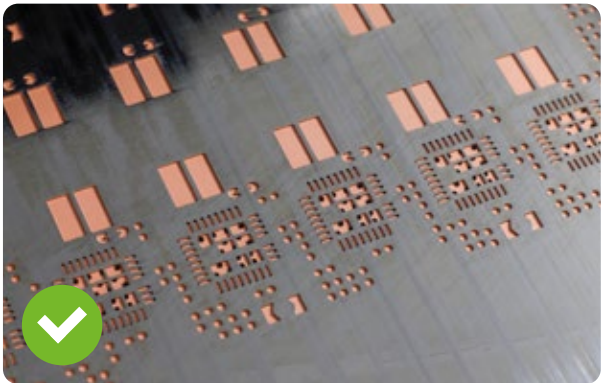
1. В начале процесса настройки пастопечати необходимо применить стандартные режимы пастопечати, рекомендованные производителем оборудования (Panasonic):

Скорость ракеля (Print speed)	50 мм/с
Давление ракеля (Pressure)	20–25 [0,01Н/мм]
Угол ракеля (Squeegee angle)	60°
Печатный зазор (Clearance)	0 мм
Скорость вертикального отделения (Descent speed)	3 мм/с
Высота вертикального отделения (Descent stroke)	3 мм
Очистка трафарета (Cleaning interval)	Через 10 плат сухая очистка (1 round)
	Через 30 плат влажная очистка (2 round)

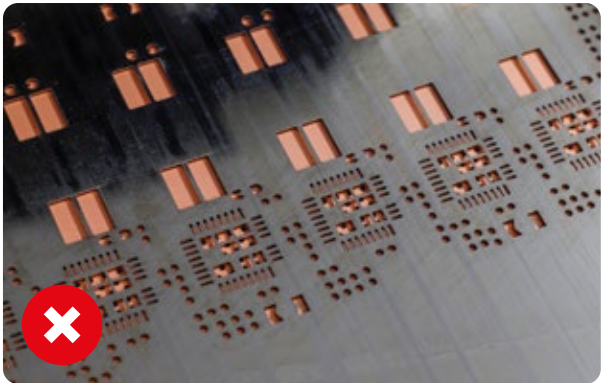


Выбранные параметры должны входить в диапазон допустимых значений из технической документации паяльной пасты.

2. Проверить контакт трафарета и печатной платы (отсутствие зазора).
Метод проверки: проверка с использованием визуального и тактильного контроля (нажатие на поверхность трафарета).



Контакт трафарета и печатной платы



Зазор между трафаретом и печатной платой

Метод работы с отклонением: если отсутствует контакт, то необходимо отрегулировать настройку печатного зазора в диапазоне от 0 до –0,5 мм (шаг регулировки 0,1 мм) в соответствии с правилами настройки, указанными в параграфе 3.5.5.

3. Настроить давление ракеля.

Метод проверки: визуальная проверка технологом поверхности трафарета после прохода ракеля.

Метод работы с отклонением: если в рабочей области трафарета после прохождения ракеля остаются следы пасты, то необходимо увеличить давление. Давление увеличивается в диапазоне от 20 [0,01 Н/мм] до максимального значения, указанного в технической документации на паяльную пасту. Давление увеличивается с шагом 2 [0,01 Н/мм], до тех пор пока поверхность трафарета не станет зеркальной.

4. Проверить симметричность отпечатка (заполнение).

Метод проверки: визуальная проверка технологом при помощи микроскопа.

Метод работы с отклонением: если отпечаток несимметричный, то необходимо отрегулировать скорость движения ракеля в диапазоне 25–100 мм/с (шаг регулировки 20 мм/с) в соответствии с правилами настройки, указанными в параграфе 3.5.2.

5. Проверить форму отпечатка после отделения платы от трафарета.

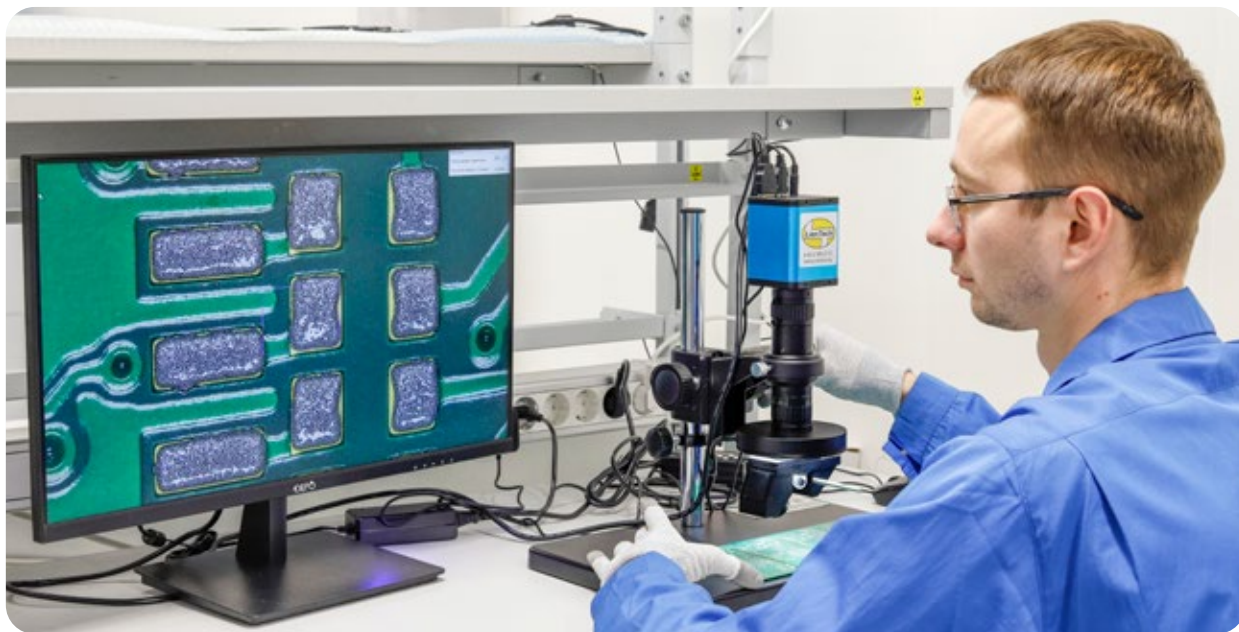
Метод проверки: визуальная проверка технологом при помощи микроскопа.

Метод работы с отклонением: если форма отпечатка неудовлетворительная (дефект типа «собачьи ушки», или паста остается в апертурах трафарета после отделения), то необходимо отрегулировать скорость вертикального отделения трафарета в диапазоне 1,5–5,0 мм/с (шаг регулировки 0,5 мм/с) в соответствии с правилами настройки, указанными в параграфе 3.5.4.

6. Очистка трафарета.

Метод проверки: визуальная проверка технологом.

Метод работы с отклонением: если после отделения трафарета выявлены пережиги, то необходимо скорректировать процесс отмывки трафарета. Необходимо сократить интервал сухой очистки — до 5–10 плат и влажной очистки — до 15–30 плат.



Визуальная проверка отпечатка паяльной пасты при помощи микроскопа



Порядок настройки пастопечати

3.7 Окончание процесса пастопечати

При работе с паяльной пастой необходимо соблюдать систему маркировки с фиксированием этапов работы: вскрытие, начало и конец работы с пастой.

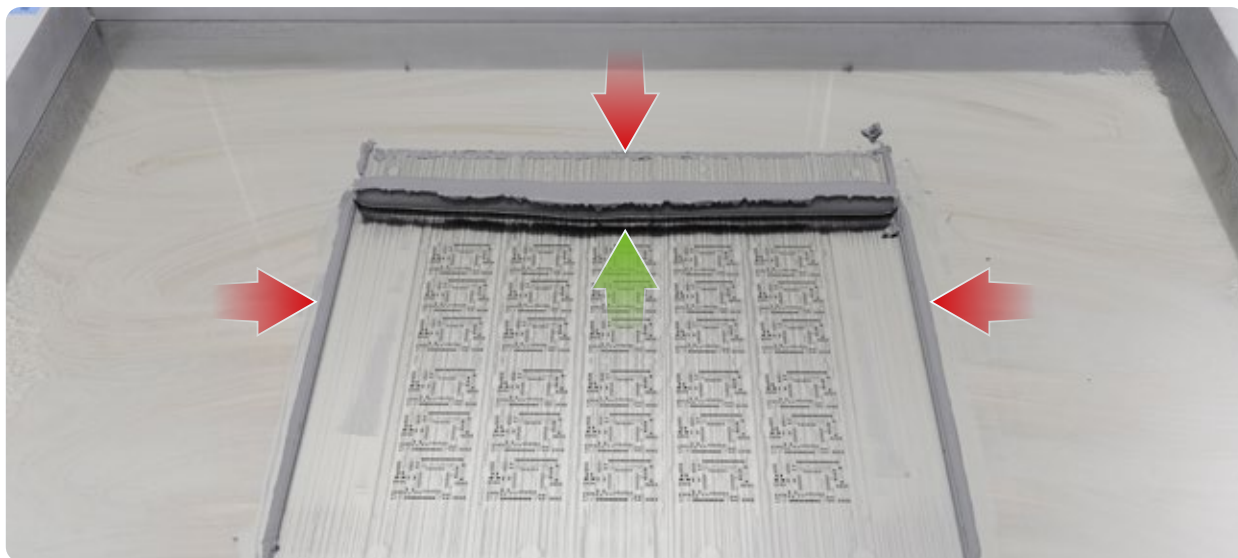
Паяльная паста, которая осталась на поверхности трафарета вне рабочей зоны апертур, считается отходами, которые складываются в отдельную тару и подлежат утилизации (красные стрелки).

Остатки валика (зеленая стрелка) паяльной пасты в конце рабочей смены убираются в тару с перемешанной пастой. Перед использованием пасты из этой банки необходимо повторно перемешать содержимое при помощи шпателя.

Необходимо выполнить маркировку каждой тары в зависимости от типа ее содержимого: перемешанная паста с остатками валика, отходы.

Банка с отходами паяльной пасты передается на склад для дальнейшей утилизации.

Перемешанная паяльная паста с остатками валика хранится при комнатной температуре (13–22 °C).



Зеленая стрелка — остатки валика паяльной пасты.

Красные стрелки — остатки паяльной пасты вне рабочей зоны апертур

3.8 Дефекты пастопечати и способы их устранения

Критерии качества отпечатка паяльной пасты на контактной площадке описаны в IPC-7527 «Требования к печати паяльной пастой».

Точность и качество пастопечати контролируется оптической инспекцией SPI (Solder Paste Inspection) — см. подробнее в главе 5.

На основе точности принтера Panasonic SPG (± 20 мкм) и с учетом допуска толщины печатной платы ($\pm 10\%$) в SPI установлен допустимый объем отпечатка паяльной пасты, который составляет 70–130% от объема апертуры трафарета.

Выход объема за допустимый порог (70–130% от объема апертуры трафарета) говорит о возникновении отклонения, требующего внимания со стороны технолога. Индикатором отклонения являются пороги: 50-70% (нижний предел) и 130–180% (верхний предел).

Что является дефектом пастопечати?

Согласно IPC-7527, объем отпечатка паяльной пасты менее 50% объема апертуры является дефектом.

Верхний предел объема отпечатка паяльной пасты не установлен IPC-7527, поэтому в компании НПО СтарЛайн установлен внутренний стандарт, согласно которому дефектом является объем отпечатка пасты свыше 180%.

Платы с данными дефектами подлежат обязательной отмывке в отмывочной машине, так как в процессе ручной отмывки паста удаляется не полностью, а также паста забивает переходные

отверстия и через них попадает на обратную сторону платы. При оплавлении частицы паяльной пасты становятся причинами образования перемычек и шариков припоя.

После отмывки плата проходит повторный процесс нанесения паяльной пасты.

Таким образом, есть три вида дефектов пастопечати:

1. Превышение установленного порога объема отпечатка (избыточное количество пасты на контактных площадках).
2. Занижение установленного порога объема отпечатка (недостаточное количество пасты на контактных площадках).
3. Смещение отпечатка паяльной пасты.

При возникновении трех и более повторяющихся дефектов (объем пасты менее 50% или более 180%) или индикаторов отклонения (объем пасты в диапазоне 50–70% или 130–180%) на одной площадке необходимо предпринять меры по их устранению.

При работе с отклонениями (дефектами) рекомендуется следующая последовательность действий:

1. Проверка состояния инструментов и материалов пастопечати, а именно:
 - наличия и состояния поддерживающих пинов;

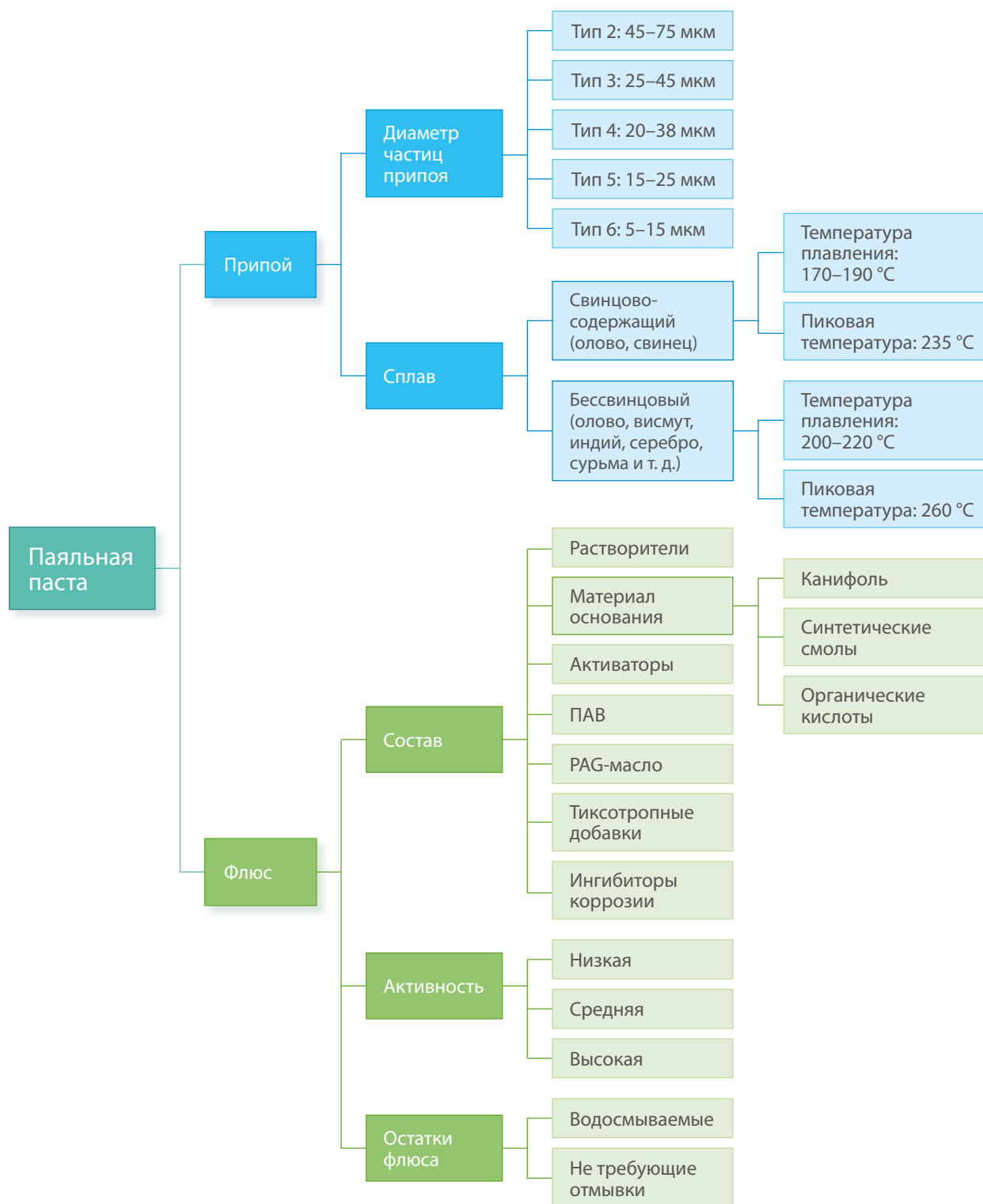
- давления внутри рамки трафарета;
- чистота стола (тисков);
- чистоты рамки трафарета;
- высоты валика пасты на трафарете;
- отличия толщины печатных плат (платы из разных партий, наплывы финишного покрытия площадок, отличие толщины шелкографии, ремонтные платы с избытком защитной маски);
- загрязнения системы очистки трафарета (забиты сопла);
- повреждение ракеля;
- повреждения трафарета.

2. Изменение настроек принтера.

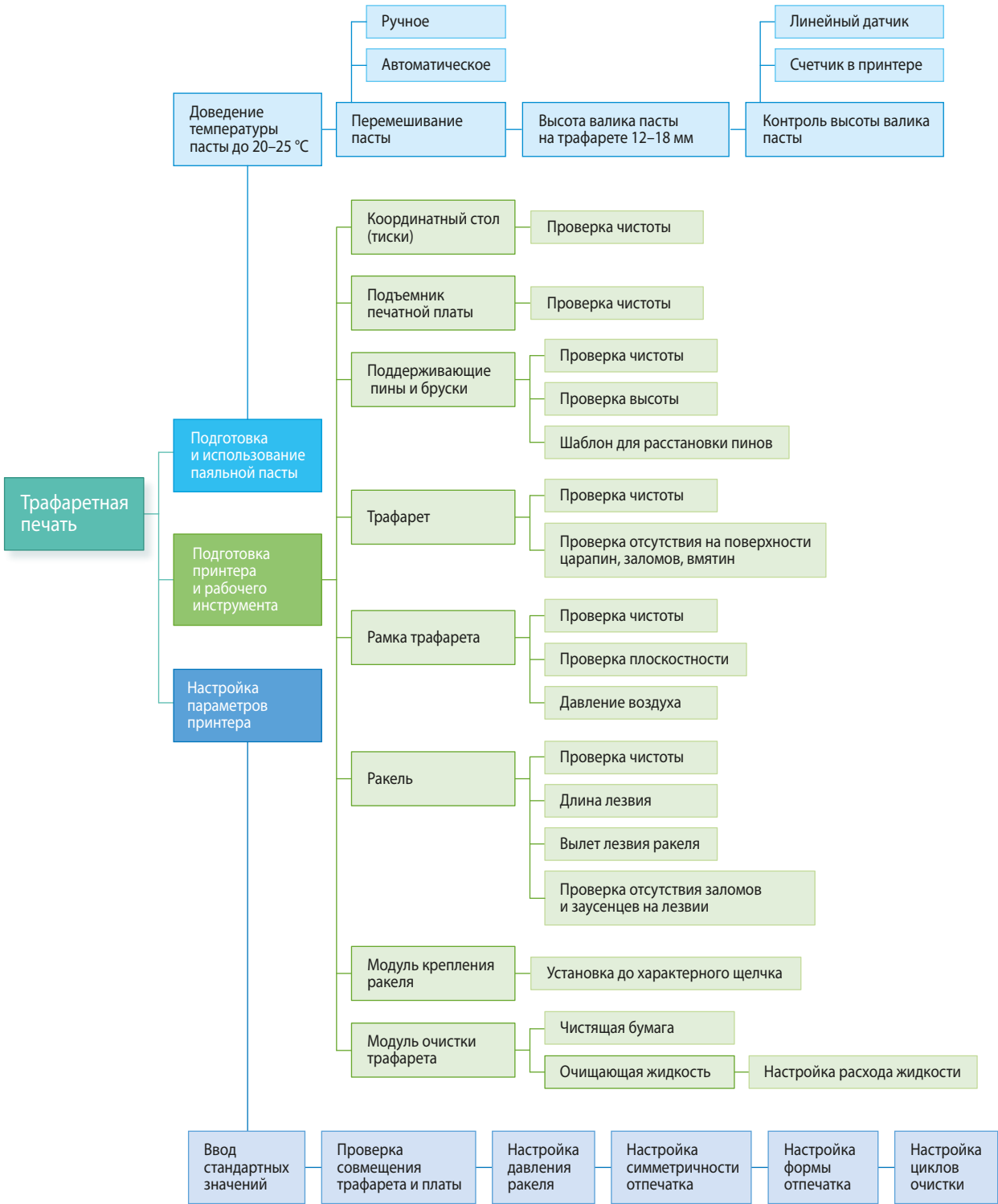


Для обеспечения качественной пастопечати необходимо обеспечить непрерывный процесс работы SMT-линии. При возникновении паузы в процессе пастопечати (30–40 минут) первые пять плат будут с индикатором отклонения (объем пасты 50–70%). Это происходит из-за тиксотропных добавок в составе флюса паяльной пасты. При отсутствии механического воздействия на пасту ее консистенция становится более вязкой (густой) и из-за этого паста не полностью заполняет апертуры трафарета.

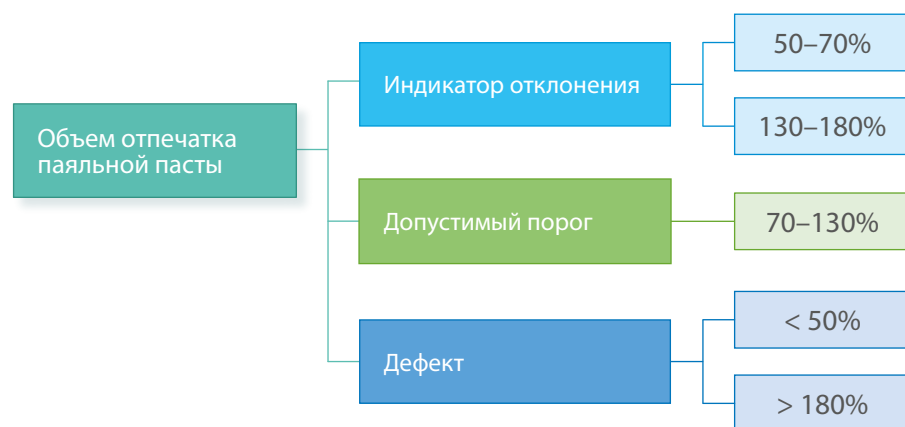
Паяльная паста. Схема-памятка

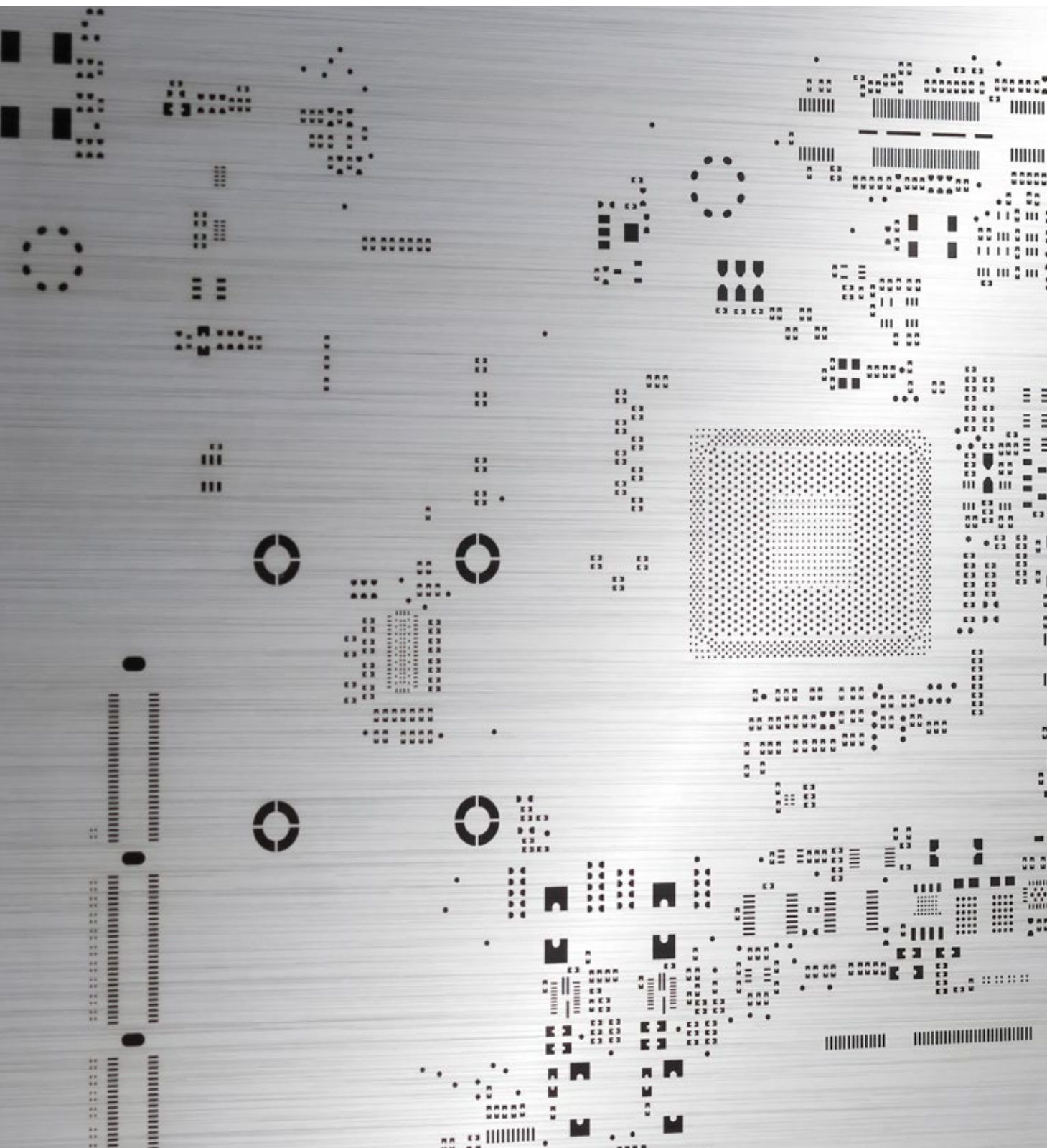


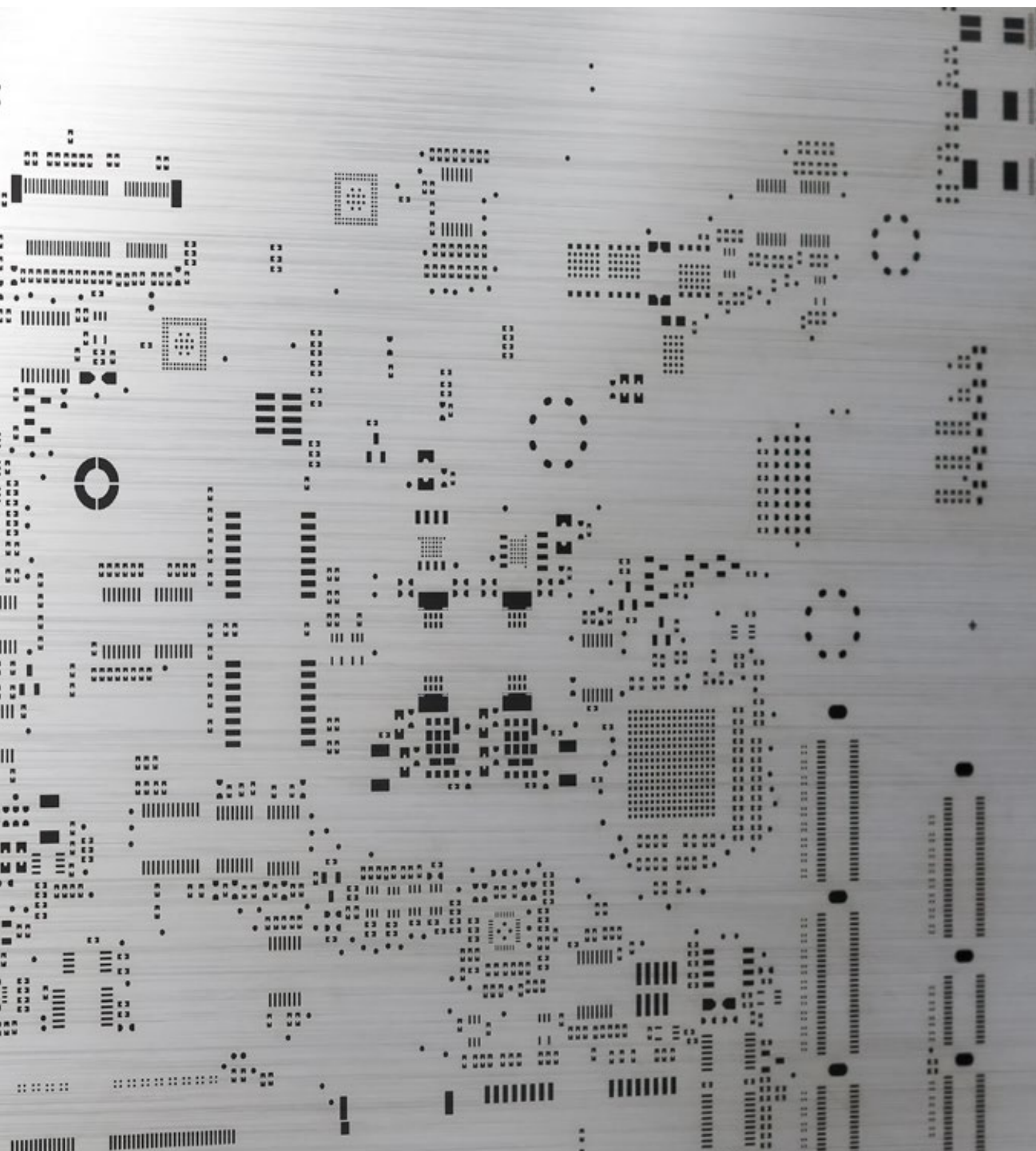
Пастопечать. Схема-памятка



Объем отпечатка. Схема-памятка







4

Трафарет

4.1 Изготовление трафарета

Трафарет — технологическая оснастка, применяемая для получения отпечатка паяльной пасты на поверхности контактных площадок.

В технологии пастопечати применяются металлические трафареты.

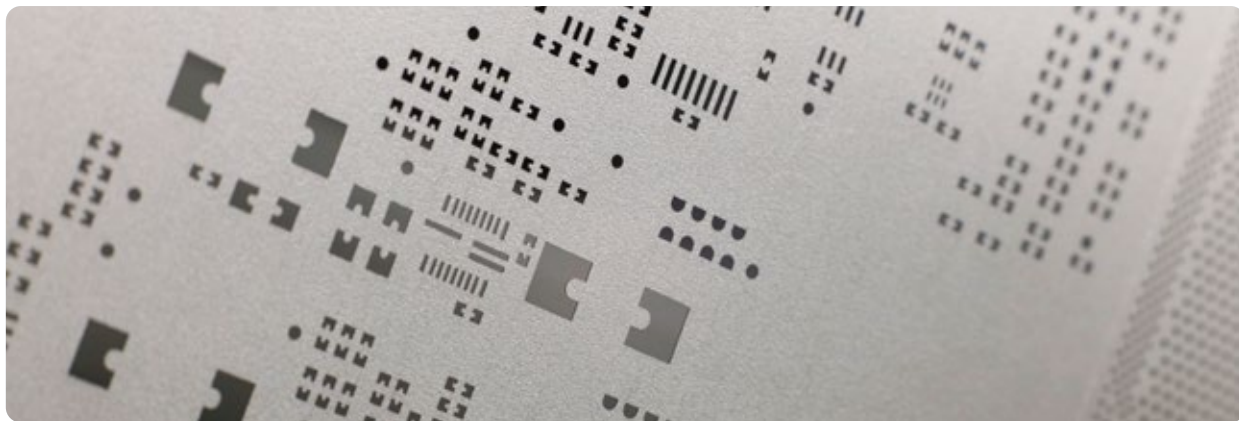
Способы изготовления трафаретов:

1. Химическое травление. Доступный способ изготовления трафарета, но минимальный размер апертур составляет 0,5 мм. Если изготовить апертуры с размером менее 0,5 мм методом химического травления, то у стенок апертур образуются неровности, что в дальнейшем приведет к снижению качества пастопечати из-за неполного заполнения апертур паяльной пастой.

2. Лазерная резка. Данные трафареты имеют размер апертур от 0,2 мм, но на стенках апертур и на поверхности трафарета остается окалина, получившаяся в результате плавления металла. Эта окалина убирается путем электрополировки.

3. Гальванопластика. Данный способ позволяет изготовить трафареты с размером апертур до 0,1 мм, но такой размер апертур редко используется. Производство трафарета данным способом отличается высокой стоимостью.

Трафареты для производств НПО СтарЛайн изготавливаются лазерной резкой с электрополировкой. Материал трафарета — нержавеющая сталь.



Трафарет

4.2 Общие правила проектирования трафарета

Проектирование трафарета — это создание шаблона определенной толщины с апертурами, отвечающими требованиям технологии пастопечати.

Проектирование и разработка трафарета происходит на основании IPC-7525A «Руководство по конструированию трафаретов» и требований, указанных в технической документации (Datasheet) на конкретный компонент.

Апертуры трафарета разрабатываются в программе CAM350 на основе **Gerber-файлов**, созданных разработчиками печатной платы.

Gerber — файловый формат, представляющий собой описание и визуализацию проекта печатной платы.

Файл Gerber содержит изображения слоев платы: шелкография, маска, верхний токопроводящий слой, внутренние токопроводящие слои, контур печатной платы, слой металлизации (меди), металлизированные и неметаллизированные отверстия и т. д.

Для того чтобы при отделении трафарета от платы паяльная паста полностью оставалась на поверхности контактных площадок, и объем отпечатка соответствовал объему апертуры трафарета, необходимо соблюдать следующие рекомендации при проектировании:

1. Отношение площади апертуры к площади внутренних стенок апертур должно быть больше 0,66.

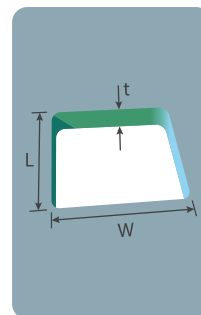
Формулы расчета соотношения площадей:

$$\text{Отношение площадей} = \frac{\text{Площадь апертуры}}{\text{Общая площадь стенок апертуры}}.$$

$$\text{Площадь апертуры} = L \cdot W.$$

$$\text{Общая площадь стенок апертуры} = 2t(L + W).$$

$$\text{Отношение площадей} = \frac{L \cdot W}{2t(L + W)}.$$

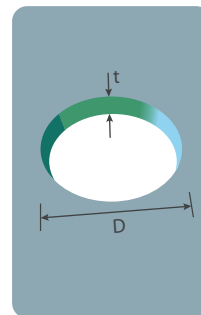


$$\text{Отношение площадей} = \frac{\text{Площадь апертуры}}{\text{Общая площадь стенок апертуры}}.$$

$$\text{Площадь апертуры} = \frac{\pi D^2}{4}.$$

$$\text{Общая площадь стенок апертуры} = \pi D t.$$

$$\text{Отношение площадей} = \frac{D}{4t}.$$



- Ширина апертур должна быть в 1,5 раза больше толщины трафарета.

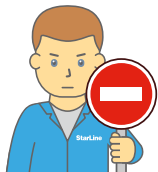
Формула расчета отношения ширины апертуры к толщине трафарета:

$$\frac{\text{Отношение ширины к толщине}}{\text{Ширина апертуры}} = \frac{\text{Толщина трафарета}}{W} = \frac{W}{t}.$$

- Минимальное расстояние между апертурами должно составлять 0,21 мм (рекомендация, рассчитанная опытным путем на производствах НПО СтарЛайн). Данный параметр характеризует вероятность образования перемычек между ближайшими отпечатками пасты.



Для определения максимальной толщины трафарета должны быть учтены размеры минимальной апертуры трафарета.



При несоблюдении рекомендаций паста остается в апертурах трафарета в процессе отрыва трафарета от печатной платы. Это происходит из-за несоблюдения отношения площади апертуры к площади внутренних стенок апертур.



Апертуры трафарета забитые паяльной пастой

Пример проверки толщины трафарета:

Минимальная апертура в трафарете:
 $0,25 \times 0,25$ мм ($L = 0,25$ мм, $W = 0,25$ мм).
 Толщина трафарета: 0,1 мм ($t = 0,1$ мм).

Отношение площадей составит:

$$\frac{\text{Отношение площадей}}{L \cdot W} = \frac{L \cdot W}{2t(L + W)} = \frac{0,25 \cdot 0,25}{2 \cdot 0,1(0,25 + 0,25)} = 0,625$$

$$0,625 < 0,66.$$

Следовательно, толщина трафарета 100 мкм не подходит, поэтому принимаем толщину 80 мкм.

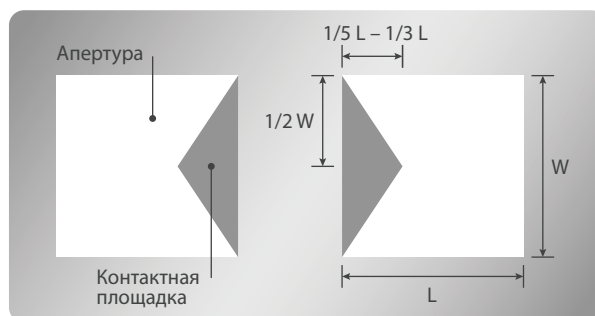
Проектирование трафарета выполняется в программе CAM350, которая имеет функцию автоматической проверки соотношения площади апертур к площади стенок апертур, соотношения ширины апертуры к толщине трафарета, а также проверяет минимальное расстояние между апертурами.

Для каждого вида площадок существуют свои правила относительно размеров и форм апертур. Правила конструирования апертур описаны в IPC-7525A и технической документации на компонент.

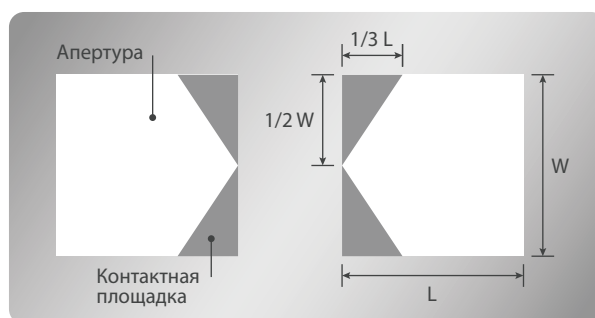
Общие рекомендации для проектирования и изготовления трафарета:

- Апертуры трафарета должны быть скруглены для уменьшения прилипания паяльной пасты к стенкам и углам при отрыве трафарета в процессе пастопечати.
- Подрезка апертур чип-компонентов выполняется одним из методов: «основная база», «галстук-бабочка», овальная апертура. После подрезки апертуры должны быть скруглены. На основании рекомендаций Panasonic и экспериментов на производствах НПО СтарЛайн было установлено, что тип подрезки «галстук-бабочка» позволяет исключить образование бусинок припоя между контактными площадками компонента. Подрезка осуществляется на глубину, равную от 1/5 до 1/3 длины апертуры.
- Overprint (когда апертуры больше контактной площадки) необходим в том случае, если стандартного количества паяльной пасты (когда апертура меньше или равна контактной площадке) недостаточно, чтобы обеспечить требуемую высоту паяного соединения.

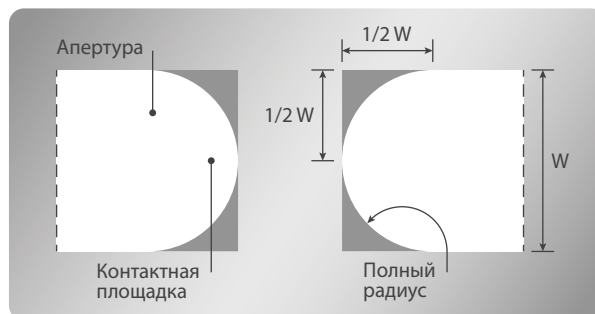
4. Разбиение больших апертур — апертуры площадью больше 10 мм^2 должны быть разбиты на «оконные стекла» с минимальным шагом $0,1 \text{ мм}$ между ними, чтобы предотвратить вычерпывание паяльной пасты ракелем в процессе пастопечати, а также для выхода паров флюса в процессе пайки.
5. Апертуры для компонентов с BGA-выводами (шариковых) с малым шагом должны быть квадратными, со стороной квадрата, равной диаметру площадки на плате. Углы апертур должны быть скруглены, радиус скругления $0,06\text{--}0,09 \text{ мм}$.
6. Апертуры для компонентов, имеющих площадку под корпусом для отвода тепла, и для корпусов QFN, LGA рекомендуется уменьшить на $50\text{--}80\%$ и разбить на «оконные стекла» с минимальным шагом $0,1 \text{ мм}$ между ними. Апертуры не должны попадать на сквозные переходные отверстия.



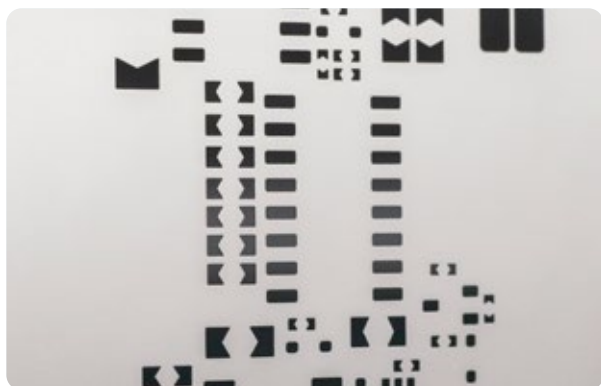
Конфигурация апертуры «галстук-бабочка»



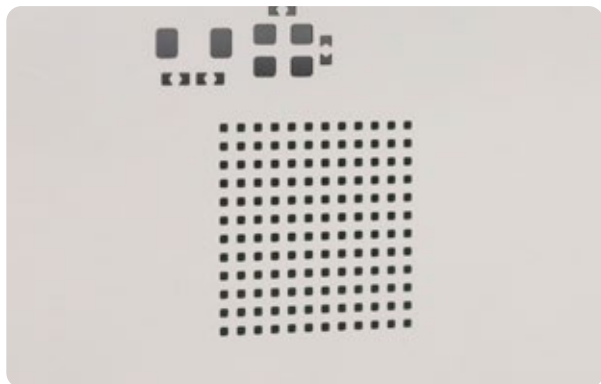
Конфигурация апертуры «основная база»



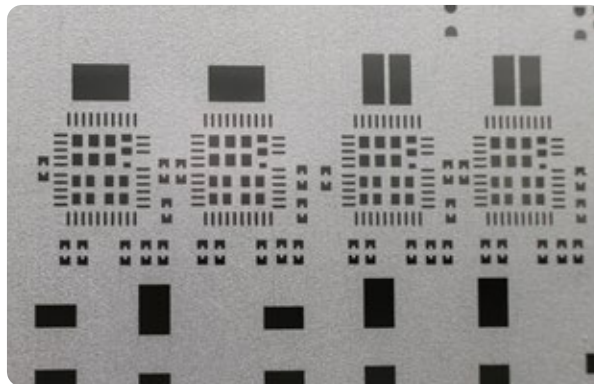
Конфигурация овальной апертуры



Подрезка апертур «галстук-бабочка»



Апертуры трафарета для BGA-компонента



Разбиение теплоотводных апертур

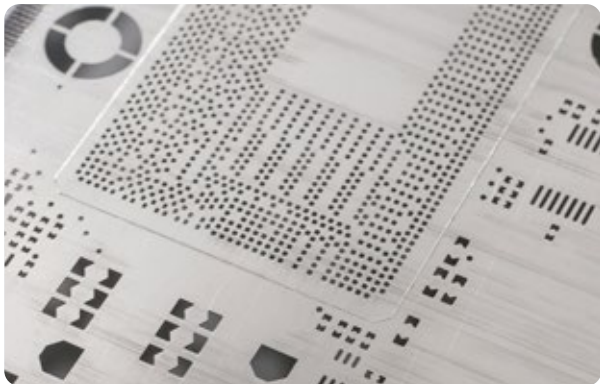
4.3 Ступенчатый трафарет

Ступенчатый трафарет — это трафарет, который имеет на своей поверхности зоны с уменьшенной или увеличенной толщиной металла, благодаря этим зонам (ступеням) меняется высота отпечатка паяльной пасты.

В трафарете необходима ступень, если для определенного компонента не соблюдается отношение площади апертуры к площади внутренних стенок апертур, или в спецификации компонента прописаны рекомендации по конфигурации и высоте апертур в трафарете.

Существует несколько основных видов ступенчатых трафаретов:

1. Трафарет, выполненный по принципу step-up — утолщение определенных областей трафарета.



Step-up технология изготовления ступенчатого трафарета

2. Трафарет, выполненный по принципу step-down — утоньшение определенных областей трафарета.



Step-down технология изготовления ступенчатого трафарета



А знаете ли вы?

Ступенчатый трафарет может изготавливаться, если печатная плата имеет утолщение поверхности, которое мешает плотному прилеганию трафарета. В таком случае в трафарете возможно выполнение полостей, компенсирующих неровности печатной платы. Утолщениями являются приподнятые переходные отверстия, штрихкодированные этикетки на печатной плате и печатные платы с нарастками дорожками.

4.4 BGA-трафареты для реболлинга

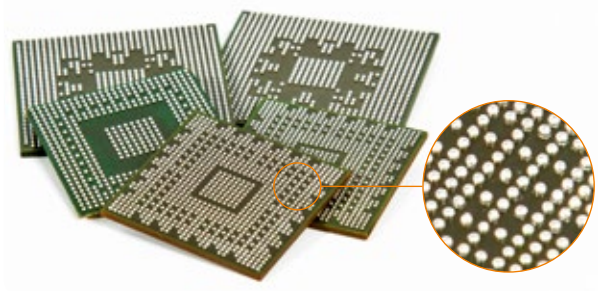
BGA-трафареты для реболлинга — это оснастка для сложного ремонта компонентов, имеющих BGA-выводы.



Трафареты для реболлинга

Почему необходим ремонт, если можно просто заменить компонент?

Компоненты с BGA-выводами являются дорогостоящими и сложными в изготовлении, поэтому разработана система ремонта выводов-шариков с использованием трафарета для реболлинга.



Компоненты с BGA-выводами

Этапы процесса реболлинга:

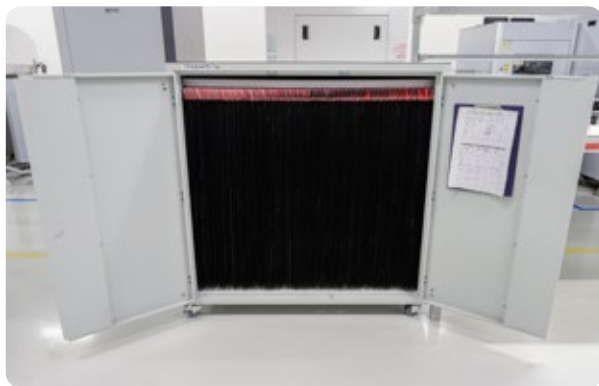
1. С компонента снимаются выводы-шарики (при помощи флюса и оплетки).
2. Компонент устанавливается в держатель.
3. На очищенную поверхность компонента наносится флюс.
4. Зафлюсованный компонент в держателе закрывается трафаретом для реболлинга и надежно фиксируется крепежами.
5. В отверстия трафарета «накатываются» новые шарики припоя — в каждое отверстие попадает шарик необходимого диаметра.
6. Держатель с компонентом, трафаретом и новыми шариками помещается в специальную печь оплавления — станцию для реболлинга горячим воздухом.
7. После оплавления конструкция разбирается в обратной последовательности, и проводится визуальный контроль установки шариков-выводов при помощи микроскопа.

Использование трафаретов для реболлинга несет экономические преимущества и используется на высокотехнологичных производствах.

4.5 Упаковка, хранение и срок службы трафарета

Наличие царапин, заломов и вмятин на трафарете приводит к некачественному отпечатку паяльной пасты на контактных площадках.

Упаковка и хранение трафарета строго регламентированы. Трафареты хранятся в вертикальном положении в специальных конвертах.



Хранение трафаретов



Хранение трафаретов



Упаковка трафарета

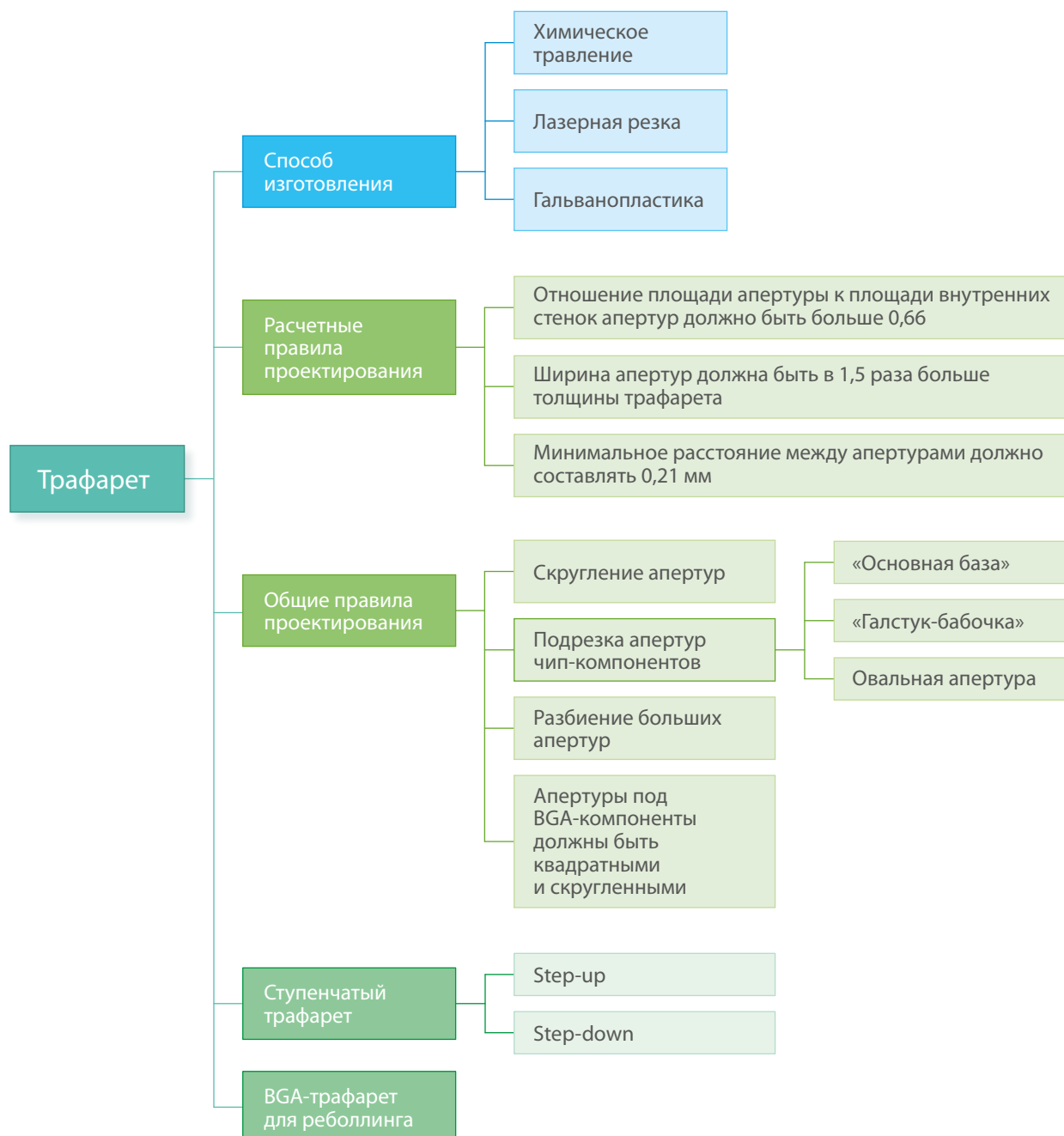
Срок службы трафарета зависит от материалов трафарета и ракеля, может составлять от 10 000 до 50 000 проходов ракеля (металлические ракели приводят к большему износу трафаретов).

Почему у трафарета есть срок службы?

При длительном использовании трафарета происходит деформация материала (растяжение), а также уменьшается его толщина. Результат работы на дефектном трафарете: смещение отпечатка паяльной пасты и уменьшение его объема.

На производствах НПО СтарЛайн срок службы трафарета составляет 30 000 проходов ракеля. Контроль количества проходов осуществляется при помощи счетчика в принтере пастопечати.

Трафарет. Схема-памятка







5

**Автоматический контроль
качества отпечатка
паяльной пасты (SPI)**

5.1 Оборудование для автоматического контроля качества отпечатка паяльной пасты

После нанесения паяльной пасты через апертуры трафарета на контактной площадке образуются отпечатки паяльной пасты. Контроль объема, формы, высоты и расположения отпечатка паяльной пасты выполняется при помощи оптической 3D-инспекции.

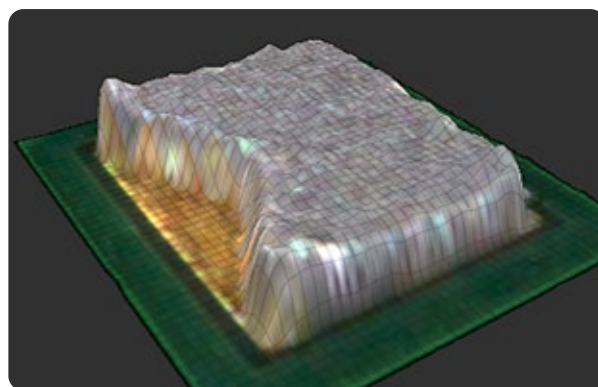
На производствах НПО СтарЛайн для оптической 3D-инспекции отпечатка пасты используется оборудование Koh Young SPI KY-8030-3 с погрешностью измерения объема менее 3%.

SPI (Solder Paste Inspection) — это инспекционная машина для контроля высокого уровня качества пастопечати за счет измерения объема отпечатка паяльной пасты и сравнения его с заданными (эталонными) параметрами.

SPI визуализирует состояние отпечатка паяльной пасты в режиме реального времени и помогает контролировать качественный процесс печати (в установленных допусках).



Koh Young SPI KY-8030-3



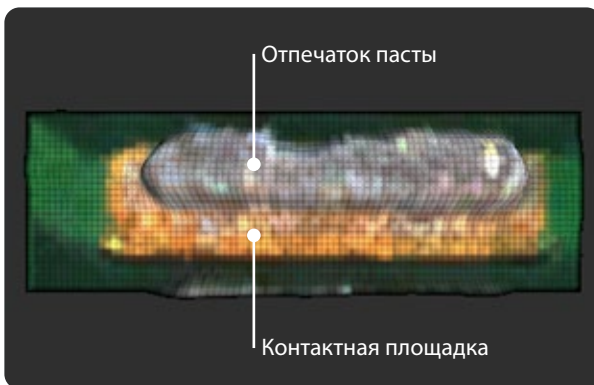
Отпечаток паяльной пасты в программе Koh Young SPI KY-8030-3

5.2 Алгоритмы проверки

SPI применяет 2D- и 3D-технологии оптического контроля, что гарантирует точную инспекцию (погрешность измерения объема — менее 3%) отпечатка и достоверный результат.

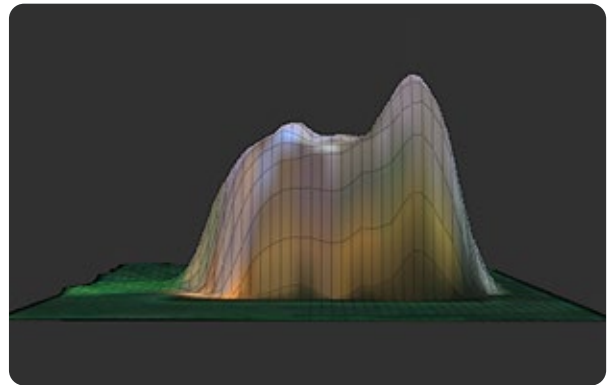
Существует два алгоритма проверки в SPI:

1. **2D-проверка** — визуализация отпечатка паяльной пасты, вид сверху (проверка смещения отпечатка паяльной пасты относительно контактной площадки).

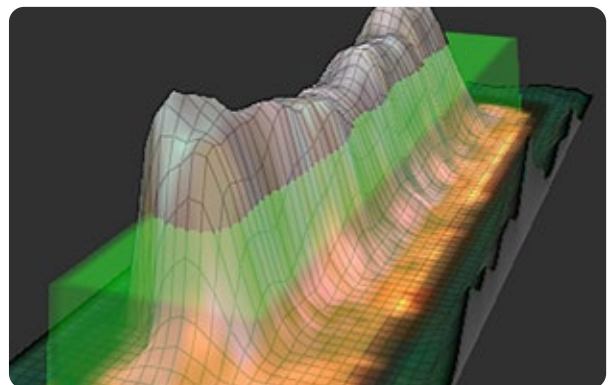


Смещение отпечатка относительно контактной площадки

2. **3D-проверка** — визуализация отпечатка паяльной пасты: объем, высота, форма.



Отпечаток паяльной пасты с дефектом формы



Отпечаток паяльной пасты с дефектом формы и объема (зеленая область — идеальный отпечаток пасты)



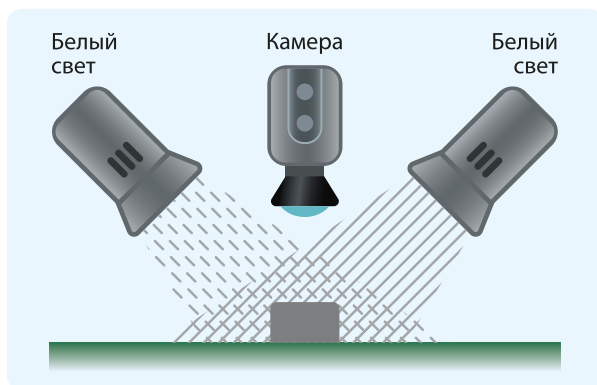
А знаете ли вы, как работает 3D-система оптической инспекции SPI?

3D-система оптической инспекции SPI основана на функции измерения толщины печатной платы и высоты паяльной пасты при помощи метода многочастотного муара.

Главные преимущества этого метода — высокая разрешающая способность, математически точное измерение объема, отсутствие чувствительности к цвету печатной платы.

Суть метода заключается в измерении высоты каждого пикселя отпечатка паяльной пасты на поверхности контактных площадок (поиск объема, высоты, формы) или поверхности печатной платы (поиск перемычек, постороннего материала и смещений за пределы контактных площадок).

Принцип измерений: свет под углом направляется на отпечаток паяльной пасты с нескольких проекций, которые напоминают собой дифракционную решетку.



Принцип метода многочастотного муара

Если на поверхности печатной платы есть отпечаток паяльной пасты или посторонний материал, то происходит смещение линий решетки, когда они достигают объекта. То есть отражение полос от объекта дает контур самого объекта на фоне ровной поверхности печатной платы.

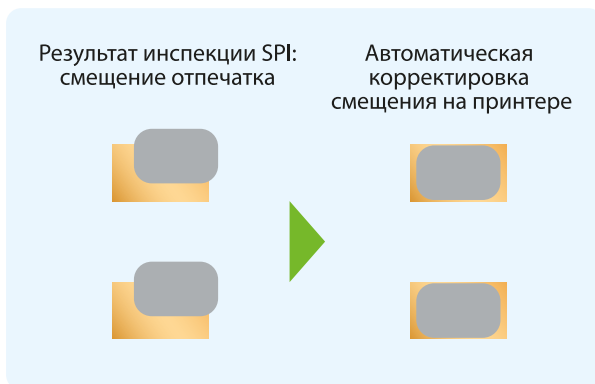
Технология многочастотного муара позволяет по смещению полос измерить высоту объекта в каждой точке (или в каждом пикселе) с погрешностью менее 3%, а также определить площадь объекта. Сумма всех пикселей по высоте на определенной площади дает значение объема отпечатка паяльной пасты.

5.3 Умные функции SPI

Инспекционная машина SPI обладает несколькими умными функциями на основе искусственного интеллекта, направленными на автоматизацию процесса и совершенствование качества без участия квалифицированного сотрудника.

1. Обратная связь SPI с принтером трафаретной печати.

На основе результатов проверки SPI (при фиксации отклонения по смещению отпечатка пасты) машина автоматически передает сигнал принтеру о смещении трафаретной печати. Смещение печати происходит из-за отличия габаритных размеров печатных плат из разных партий (точность изготовления печатных плат: $\pm 10\%$) и из-за растяжения трафарета в процессе пастопечати.



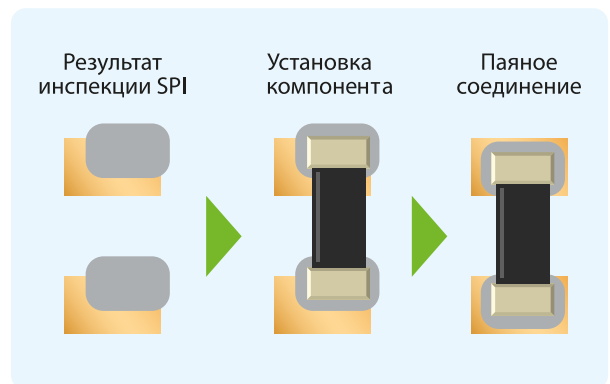
Обратная связь SPI с принтером трафаретной печати

Принтер автоматически делает поднастройку поворота (смещения) трафарета на основе полученных данных от SPI.

2. Обратная связь SPI с установщиком компонентов.

Это функция автоматической регулировки постановки компонента на контактную площадку.

На основе результатов проверки SPI (при фиксации отклонения по смещению отпечатка пасты) машина передает сигнал SMT-установщику о смещении координат установки. С помощью этих данных компоненты монтируются в фактическое положение, где напечатана паяльная паста. За счет сил поверхностного натяжения в процессе оплавления паяльная паста притягивает компонент на контактные площадки.

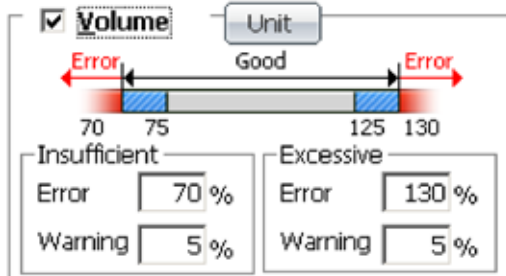


Обратная связь SPI с установщиком компонентов

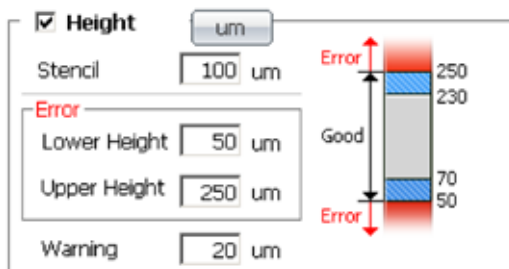
5.4 Параметры SPI

Примеры настраиваемых параметров SPI, которые контролируют высокий уровень качества пастопечати:

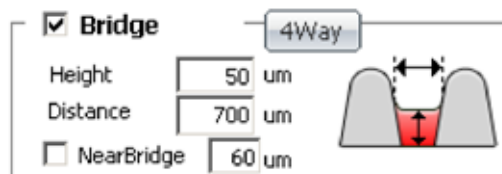
1. Объем отпечатка паяльной пасты: допустимый объем составляет 70–130% объема апертуры.



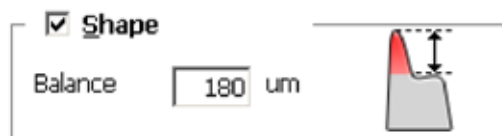
2. Высота отпечатка: допустимый порог высоты отпечатка паяльной пасты составляет 50–250 мкм, в зависимости от высоты идеального отпечатка (толщина трафарета).



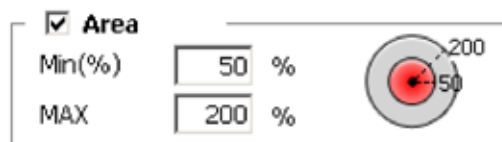
3. Наличие перемычек между соседними контактными площадками: наличие паяльной пасты высотой более 50 мкм на расстоянии 700 мкм от площадки является дефектом.



4. Форма (поиск пиков, «собачьих ушек»): если высота какого-либо пикселя на отпечатке паяльной пасты будет более 180 мкм от среднего значения высоты отпечатка, то это считается дефектом.



5. Площадь отпечатка: допустимая площадь отпечатка паяльной пасты составляет 50–200% от площади апертуры.



6. Расположение отпечатка (поиск смещения): допустимо смещение отпечатка паяльной пасты на 125 мкм по оси X и Y (по ширине и длине).

☒ **Position** Unit

X Position Error mm

Y Position Error mm

Warning mm

7. Поиск растекания паяльной пасты вне площади апертуры: допустимое растекание паяльной пасты составляет сумму из макси-

мальной допустимой площади отпечатка (п. 4) и 50% от площади апертуры.

☒ **Smear Area**

Max Area + %

8. Посторонний материал: задается область поиска и минимальная высота, при нахождении которой посторонний материал будет считаться дефектом.

☐ **Solder-Ball**

Area(um2) :

Height(um) :

Меню настроек параметров SPI:

Tolerance Setting **Other Setting**

☐ Show Blockinfo

Tolerance Setting

Edit Pad

Inspection Condition

☒ **Volume** Unit

Insufficient Error % Warning %

Excessive Error % Warning %

☒ **Bridge** 4Way

Height um Distance um

☐ NearBridge um

☒ **Shape**

Balance um

☒ **Area**

Min(%) % MAX %

☐ **Coplanarity**

Top Area %

	Error	Warning
☐ Volume(%)	20	4
☐ Offset(um)	10	2

☐ **Position** Unit

X Position Error mm

Y Position Error mm

Warning mm

☒ **Height** um

Stencil um

Lower Height um

Upper Height um

Warning um

☒ **Smear Inspection**

☒ **Smear Area**

Max Area + %

☐ **Solder-Ball**

Area(um2) :

Height(um) :

Apply Pad

Select Pads

Apply Change Option

Tolerance Setting

☐ Volume

☐ Position

☐ Bridge

☐ Shape

☐ Area

☐ Height

☐ Stencil Height

☐ Smear

☐ Coplanarity

Other Setting

☐ Array No.

☐ Panel No.

☐ StepZoom No.

☐ CAD Data

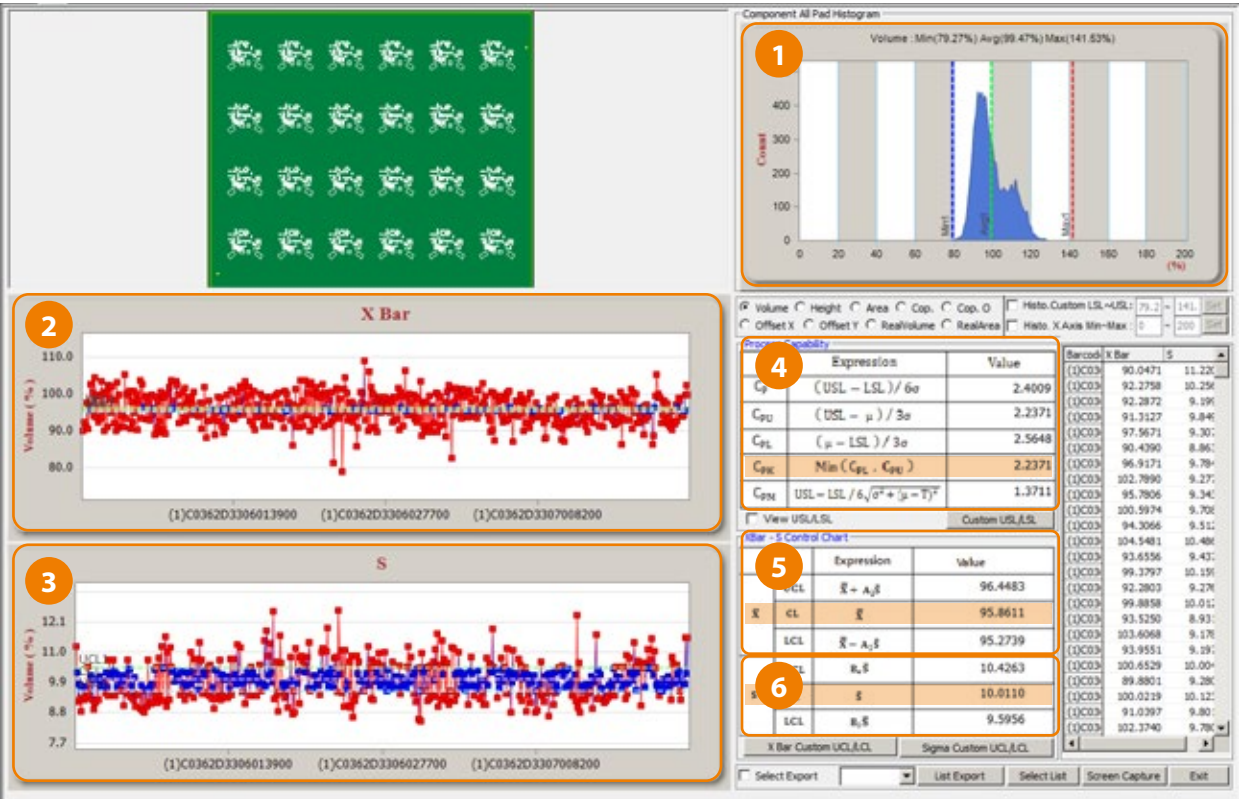
Default ☐ Show the mean values different from each other. Clicking it will activate

5.5 Статистика SPI

Одной из функций SPI является сбор статистических данных (отчетов), на основе которых можно оценить результат процесса пастопечати в заданный период времени (период сборки изделия).

Оценка ключевого параметра «повторяемость пастопечати» выполняется с помощью отчета «Анализ статистики SPI» (Defect SPC).

Из отчета видно качество процесса пастопечати, выраженное в количестве выходов процесса за пределы допустимого объема (70–130%) отпечатка паяльной пасты на контактной площадке.



Пример статистики SPI

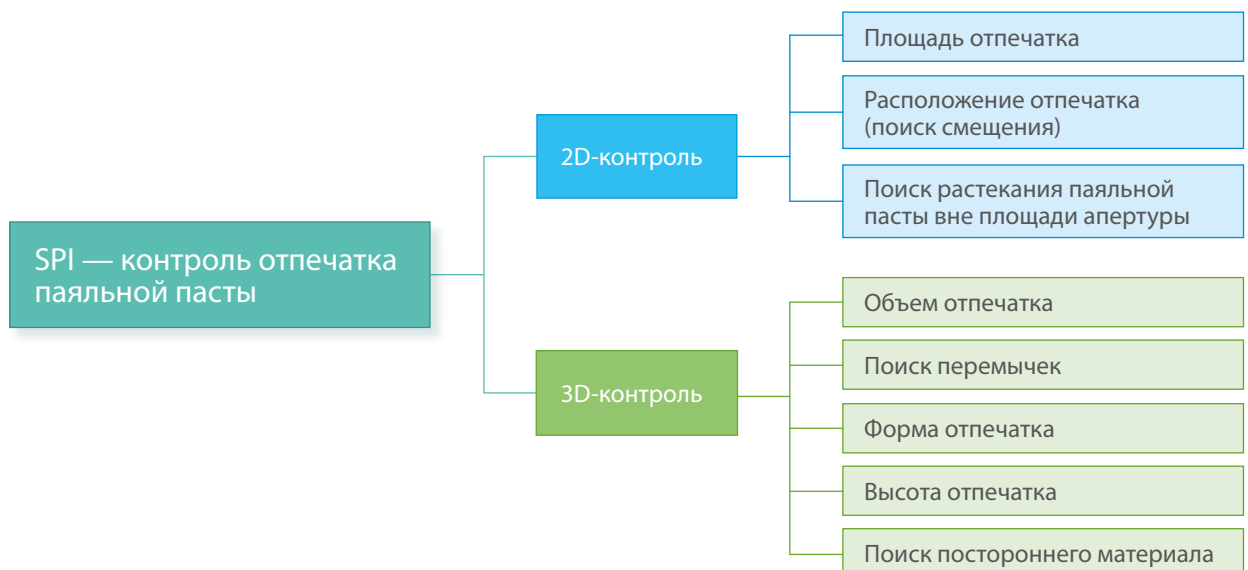
Ключевые показатели отчета «Анализ статистики SPI»:

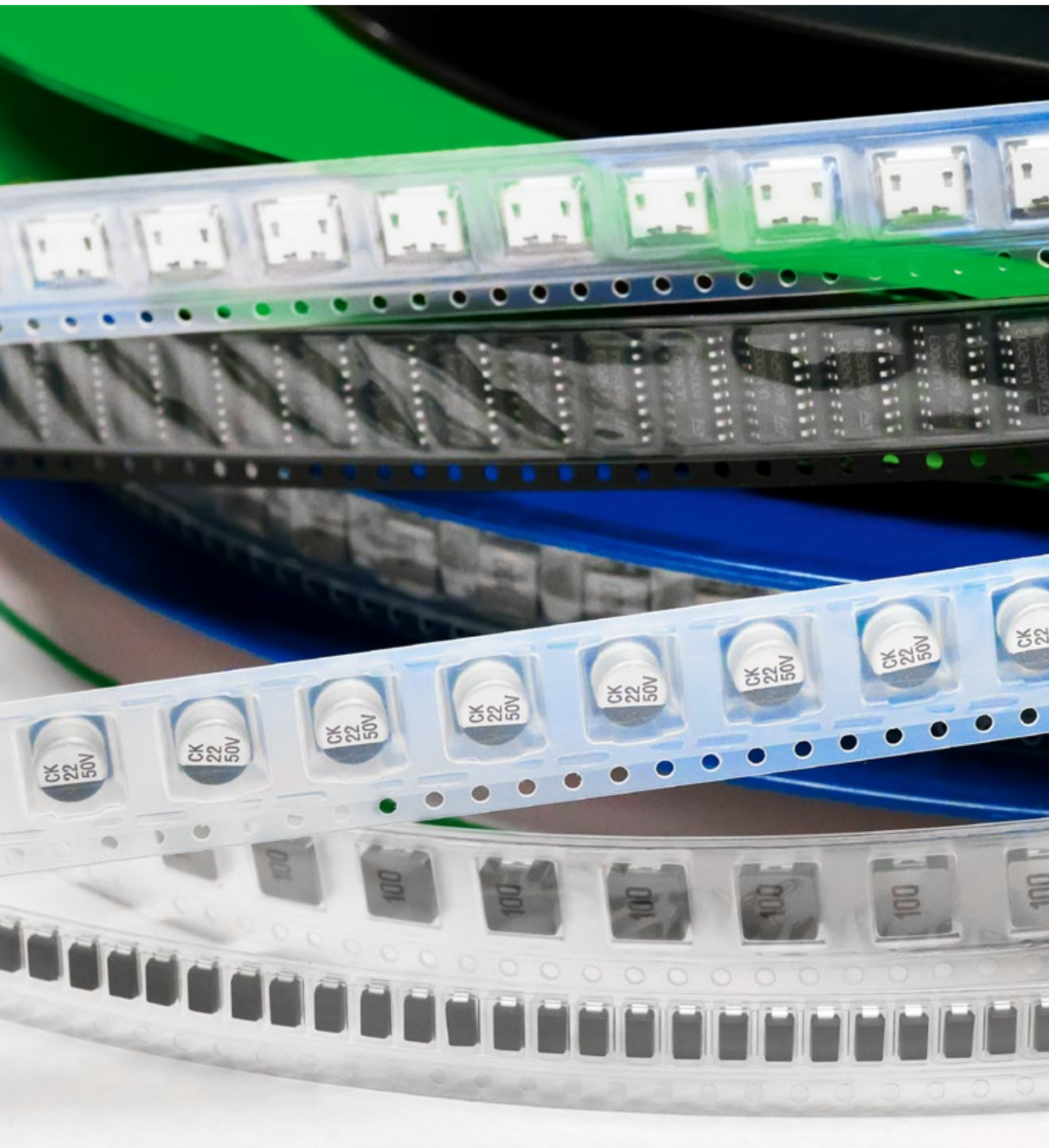
- 1 **Поле 1** — разброс объема наносимой паяльной пасты на контактных площадках. Общее количество проинспектированных контактных площадок разбивается по найденному значению объема паяльной пасты на них.
- 2 **Поле 2** — средний объем паяльной пасты на серии печатных плат, прошедших инспекцию SPI. По оси Y указан объем наносимой пасты в процентах, по оси X указываются 2D-коды прошедших через машину заготовок. Синий квадратик на графике — это одна заготовка, которой по оси Y соответствует среднее значение объема паяльной пасты на всех контактных площадках. Такие средние значения откладываются для каждой заготовки, прошедшей инспекцию SPI. На базе данных значений получается средний объем пасты, наносимой на каждую заготовку, — горизонтальная пунктирная линия на графике (из примера выше средний объем пасты составляет 95,8% объема апертуры трафарета).

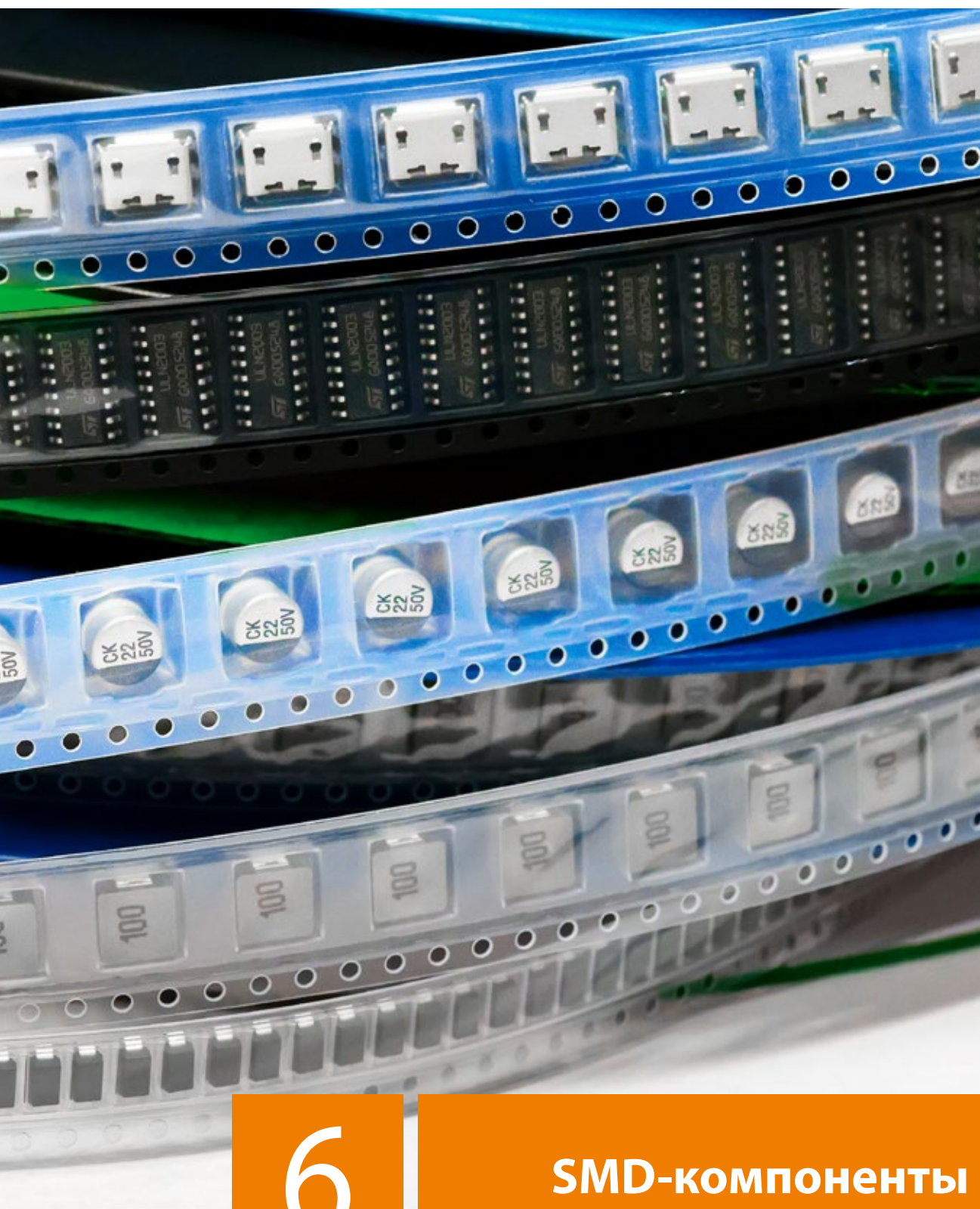
- 3 **Поле 3** — отклонение по объему в процентах при нанесении паяльной пасты на заготовку. В данном случае среднее отклонение — 10%, т. е. среднее расхождение в объеме паяльной пасты на контактных площадках от заготовки к заготовке составляет 10%.
- 4 **Поле 4** — расчет параметра Cpk. Cpk — это индекс оценки процесса, который показывает степень воспроизводимости (повторяемости) процесса и постоянство качества продукта. Чем выше значение Cpk, тем стабильнее протекает процесс, без выхода за допустимые рамки (в нашем случае это допуск 70–130%). Высокий уровень качества пастопечати означает оценку процесса на уровне Cpk = 1,5 (в нашем примере Cpk = 2,24).
- 5 **Поля 5 и 6** — численные средние значения из графиков 2 и 3 соответственно (строки выделены оранжевым).

Результат обработки статистики используется для улучшения технологического процесса при повторном запуске изделия в производство. Статистические данные и технологическое расследование помогают выявить коренные причины несоответствий, тем самым повысить уровень качества.

SPI. Схема-памятка







6

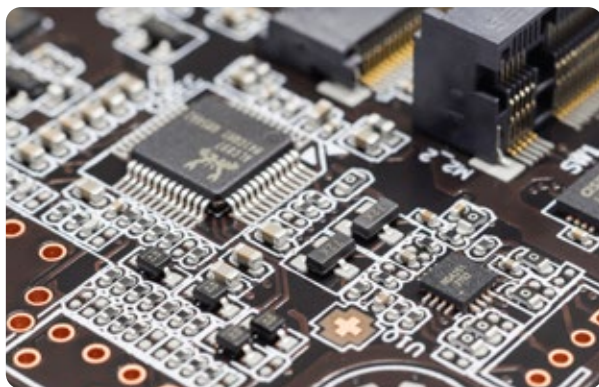
SMD-компоненты

6.1 Что такое SMD-компоненты?

SMD (Surface Mounted Device) компоненты — это электронные компоненты, монтируемые на поверхность печатной платы.



SMD-компоненты



SMD-компоненты установлены на отпечаток паяльной пасты

Таким образом, SMD-компонент (его еще называют чип-компонент) припаивается на контактные

площадки, которые расположены на поверхности печатной платы.

Разработчики SMD-компонентов для обеспечения возможности автоматизированного монтажа создают сбалансированные компоненты (с определенным центром масс) с площадкой на поверхности для возможности автоматизированного захвата компонента.

Корпус — это часть конструкции микросхемы, предназначенная для защиты от внешних воздействий и для соединения с внешними электрическими цепями посредством выводов.

Корпуса стандартизованы для упрощения технологического процесса изготовления изделий, а также для проектирования печатных плат. Число стандартных корпусов исчисляется сотнями!

Узнать подробную информацию об электронном компоненте можно из технической документации — Datasheet.

Datasheet — это спецификация на компонент, предоставляемая его производителем.

В Datasheet указываются технические характеристики компонента: габаритные размеры, номинал, режимы эксплуатации, маркировка, полярность, схемы включения, температурные режимы пайки и другая информация.

Электронные компоненты делятся на две группы:

1. Пассивные.

К пассивным компонентам относятся устройства, которые предназначены для перераспределения электрической энергии, они не могут контролировать ток с помощью другого электрического сигнала. Пассивные компоненты являются самыми распространенными изделиями электронной промышленности и составляют до 50% всех элементов принципиальной схемы.

К пассивным относятся: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, реле.

2. Активные.

К активным относятся устройства, способные усиливать или преобразовывать электрические сигналы, проходящие через них: диоды, транзисторы, микросхемы.

SMD-резистор состоит из керамической подложки, на которую нанесен резистивный слой. Номинал сопротивления определяется толщиной и формой слоя, а точность номинала достигается путем лазерной подрезки слоя.

На корпусе резистора может быть маркировка, в которой закодированы номинальное сопротивление резистора и допуск:

1. Маркировка может иметь 3 или 4 символа. Маркировка с тремя символами (цифра-цифра-цифра, цифра-буква-цифра) наносится на резисторы, имеющие допуск от 2 до 10%.
2. Маркировка с тремя символами (цифра-цифра-буква) или с четырьмя символами наносится на резисторы, имеющие допуск 1%.

Расшифровка маркировки на компонент находится в Datasheet.

6.1.1 Пассивные компоненты

6.1.1.1 Резисторы

Резистор — это элемент электрической цепи, оказывающий сопротивление протекающему через него току.

Единица измерения сопротивления — ом.

Резисторы бывают с постоянным или переменным сопротивлением.



SMD-резистор

$$\begin{aligned} \boxed{223} &= 22 \times 10^3 \text{ Ом} \\ &= 22\,000 \text{ Ом} \\ &= 22 \text{ кОм} \pm 5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \boxed{8202} &= 820 \times 10^2 \text{ Ом} \\ &= 82\,000 \text{ Ом} \\ &= 82 \text{ кОм} \pm 1\% \end{aligned}$$

$$\boxed{4R7} = 4,7 \text{ Ом} \pm 5\%$$

$$\boxed{0R22} = 0,22 \text{ Ом} \pm 5\%$$

$$\boxed{0} = 0 \text{ Ом}$$

$$\boxed{38D} = 243 \text{ кОм} \pm 1\%$$

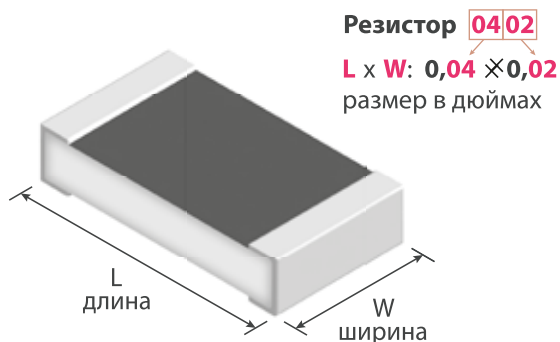
Примеры маркировки SMD-резисторов

Корпуса SMD-резисторов стандартизованы по типоразмеру в метрической и дюймовой системе измерения.

Типоразмер состоит из четырех цифр:

1. Две первые цифры указывают длину (L) в дюймовой системе измерения.
2. Две последние — ширину (W) в дюймовой системе измерения.

На производствах НПО СтарЛайн используется дюймовое обозначение типоразмера чип-компонентов. Например, размер резистора 0402 равен $0,04 \times 0,02$ дюйма (inch) или $1 \times 0,5$ мм.



Размер резистора 0402

Корпуса с одним и тем же названием могут иметь разную высоту, различные контактные площадки и быть выполнены из различных материалов, но рассчитаны для монтажа на стандартное установочное место.

На сборочных чертежах и в спецификациях печатных плат резистор обозначается «R».

6.1.1.2 Конденсаторы

Конденсаторы — это элемент электрической цепи, предназначенный для накопления и удержания электрического заряда.



Конденсаторы

Единица измерения емкости — фарад, Ф.

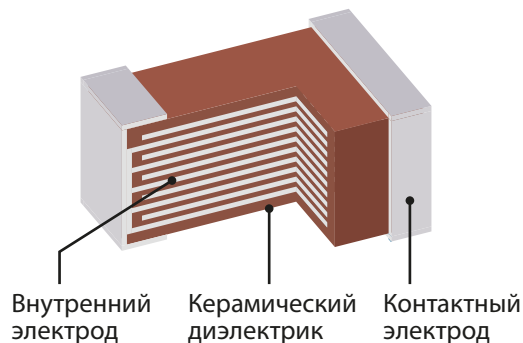
В промышленной электронике используются конденсаторы емкостью в пФ, нФ, мкФ.

Типы SMD-конденсаторов:

1. **Керамические.**
2. **Электролитические.**
3. **Танталовые.**

Керамические SMD-конденсаторы

Керамический конденсатор представляет собой керамический диэлектрик, внутри которого несколько слоев с электродами, т. е. многослойный керамический конденсатор.

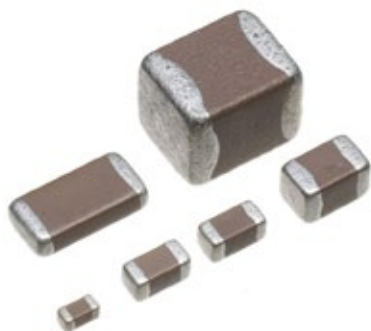


Внутреннее устройство керамического конденсатора

Емкость керамических конденсаторов составляет от 1 пФ до 100 мкФ. Их корпус имеет характерный светло-коричневый цвет, а маркировка не указывается.

Конструктивно конденсаторы для поверхностного монтажа в зависимости от габаритных размеров подразделяются на несколько типоразмеров, аналогичных резисторам.

В керамических SMD-конденсаторах используется несколько типов неорганического диэлектрика. Тип диэлектрика чип-конденсатора характеризует точность и стабильность его параметров. Наиболее распространенные типы диэлектриков: NP0, X7R, X5R, Y5V.



Керамические SMD-конденсаторы

Пример расшифровки спецификации керамических SMD-конденсаторов:

390 pF X7R 10% 0603

390 pF — номинальная емкость

X7R — тип диэлектрика

10% — точность (допустимое отклонение в %)

0603 — типоразмер

Допуск в характеристиках конденсаторов — это допустимое/возможное отклонение емкости от указанного номинала. Есть виды с малым допуском — в несколько процентов, есть с большим — до 20%.

Электролитические SMD-конденсаторы

Отличаются от керамических конденсаторов тем, что имеют значительно большую емкость.



Электролитические SMD-конденсаторы

Электролитические SMD-конденсаторы выполняются в виде бочонка и имеют маркировку

на корпусе: емкость и рабочее напряжение. Черной (синей, фиолетовой) полоской на «шляпке» конденсатора маркируется его минусовой вывод.

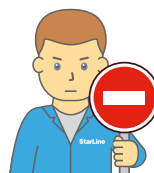


Электролитические конденсаторы требуют соблюдения полярности при монтаже на печатную плату: минусовой вывод, отмеченный полоской на шляпке, необходимо подключить к минусу, согласно конструкторской документации. Точная информация о полярности указывается в технической документации на компонент (Datasheet).

Отрицательный
контакт



Метка полярности на электролитических конденсаторах



Нарушение рекомендации по соблюдению полярности при установке компонента повлечет за собой быстрый перегрев компонента и закипание электролита, пары которого разорвут корпус компонента.

Танталовые конденсаторы

Танталовые конденсаторы являются подтипом электролитического конденсатора. Изготавливаются из металлического тантала, выполняющего роль анода, покрытого изолирующим оксидным слоем. За счет использования в нем тонкого слоя диэлектрика танталовый конденсатор отличается от других электролитических конденсаторов высокой емкостью при одинаковом объеме и меньшей массой. Емкость танталовых конденсаторов практически не меняется с течением времени, в отличие от алюминиевых электролитических

конденсаторов. Танталовые конденсаторы дороже алюминиевых электролитических конденсаторов.

Диапазон накапливаемого заряда — от 1 до 680 мкФ при напряжении от 6 до 35 В.

Допустимые отклонения емкости составляют $\pm 10\%$, $\pm 20\%$.

Полярность выводов, краткие технические данные, а также маркировка конденсатора указаны на верхней части корпуса. Положительный вывод определяется полоской на краю крышки конденсатора.

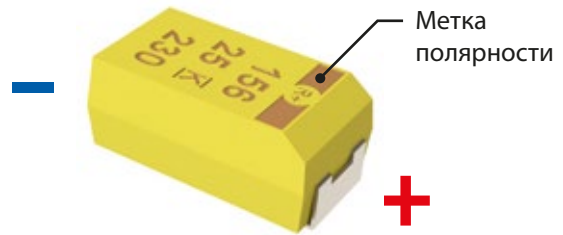
Конструктивно танталовые электролитические конденсаторы для поверхностного монтажа в зависимости от габаритных размеров корпуса подразделяются на несколько типоразмерных групп: А ($3,2 \times 1,6 \times 1,6$ мм), В ($3,5 \times 2,8 \times 1,9$ мм), С ($6,0 \times 3,2 \times 2,6$ мм), D ($7,3 \times 4,3 \times 2,9$ мм), Е ($7,3 \times 4,3 \times 4,1$ мм).



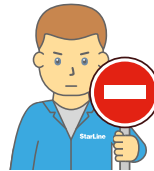
Танталовые конденсаторы



Танталовые конденсаторы требуют соблюдения полярности при монтаже на печатную плату: положительный вывод, отмеченный полоской на корпусе компонента, необходимо подключить к плюсу, согласно конструкторской документации. Точная информация о полярности указывается в технической документации на компонент (Datasheet).



Метка полярности на танталовых конденсаторах



Нарушение рекомендации по соблюдению полярности при установке компонента повлечет за собой выход из строя конденсатора с возможностью его возгорания вследствие перегрева (при эксплуатации изделия).

На сборочных чертежах и в спецификациях печатных плат конденсатор обозначается «С».

6.1.1.3 Катушки индуктивности

Катушка индуктивности — это элемент электрической цепи, который используется в электронике и электротехнике для накопления энергии в магнитном поле, когда через него протекает электрический ток.

Единица измерения индуктивности — генри, Гн. В промышленной электронике используются катушки индуктивности емкостью нГн, мкГн, мГн.



Примеры катушек индуктивности

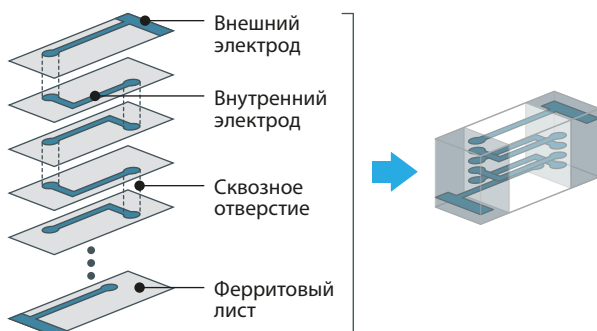
По способу производства катушки разделяются на два вида:

1. Многоступенчатая структура (чип-индуктор).
2. Проволочные катушки индуктивности.

Основу чип-индуктора составляют тонкие листы феррита или специальной керамики, на которые наносятся витки спирали. Каждый слой соединен с соседними слоями специальными гильзами.



Чип-индукторы



Внутреннее устройство чип-индуктора

Такое техническое решение позволяет значительно уменьшить геометрические размеры компонентов при сохранении основных электрических параметров.

Проволочные катушки индуктивности состоят из сердечника и обмотки вокруг него. Сердечник может быть изготовлен из феррита, железа или другого материала с высокой магнитной

проницаемостью. Обмотка обычно выполняется из медного провода. Катушка индуктивности может быть открытого или закрытого типа (в дополнительном герметичном корпусе).



Проволочные катушки индуктивности

Частный случай катушки индуктивности — **трансформатор**.

Трансформатор — это две и более катушек на одном сердечнике (первичная и вторичные обмотки) либо на замкнутом магнитопроводе.



Трансформаторы

Трансформаторы используются для:

1. понижения напряжения,
2. повышения напряжения,
3. гальванической развязки,
4. согласования в усилительных каскадах.

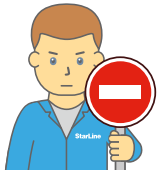


Некоторые трансформаторы требуют соблюдения полярности при монтаже на печатную плату: первый вывод, отмеченный точкой на корпусе компонента, необходимо подключить к соответствующему

выводу согласно конструкторской документации. Точная информация о полярности указывается в технической документации на компонент (Datasheet).



Метка полярности на трансформаторе



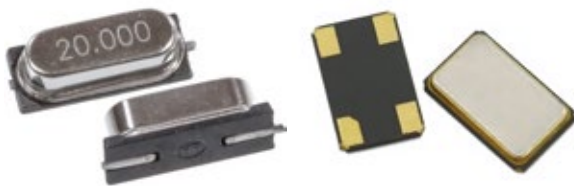
Неправильное включение трансформатора может привести к выходу из строя всего электронного изделия.

На сборочных чертежах и в спецификациях печатных плат катушка индуктивности обозначается «L», трансформатор — «Т».

6.1.1.4 Кварцевые резонаторы, генераторы

Резонатор — это система, в которой возникают вынужденные колебания резонансной частоты при воздействии внешних факторов.

Кварцевый резонатор — это элемент электрической цепи, который используется для построения высокочастотных колебательных контуров.



Кварцевые резонаторы

Основным материалом этих компонентов служат кварц, керамика и некоторые другие пьезоэлектрики.



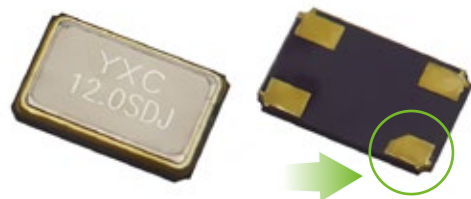
Наиболее популярным видом являются резонаторы на частоте 32,768 кГц, используемые в часовых схемах. Их резонансная частота, поделенная на пятнадцатипятиразрядном двоичном счетчике, даст интервал времени в одну секунду.

Кварцевые резонаторы выпускаются в металлических корпусах. Форма и размеры металлического корпуса определяются площадью кварцевых пластин, размещенных внутри и являющихся основой для получения резонанса.

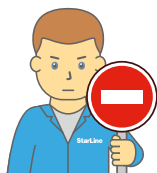
Кварцевый генератор — элемент электрической цепи, являющийся автогенератором колебаний на основе кварцевого резонатора.



Некоторые кварцевые генераторы, резонаторы требуют соблюдения полярности при монтаже на печатную плату: первый вывод (пин) на компоненте, выполненный со скосом, должен быть подключен в схему соответственно. Точная информация о полярности указывается в технической документации на компонент (Datasheet).



Метка полярности на кварцевом резонаторе



При несоблюдении полярности электронное устройство не будет работать.

Кварцевые резонаторы и кварцевые генераторы применяются в таких устройствах, как синтезаторы частот, приемопередатчики, все современные мобильные и компьютерные устройства.

На сборочных чертежах и в спецификациях печатных плат генераторы, резонаторы обычно обозначаются «Q», «QZ».

6.1.2 Активные компоненты

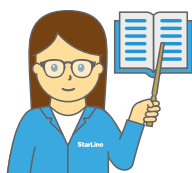
6.1.2.1 Диоды

Диод — электронный прибор с двумя электродами, который проводит ток только в одном направлении и блокирует протекание тока в обратном направлении.

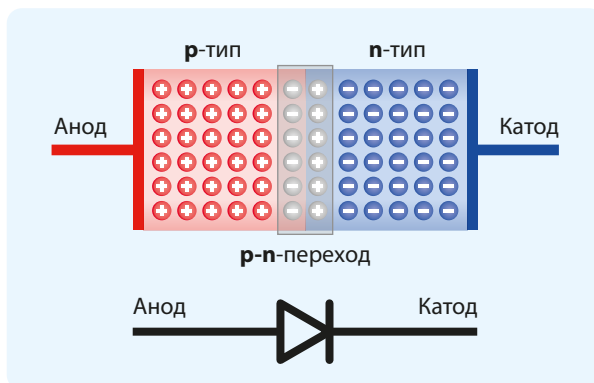


Диоды

Диод выполняется из полупроводникового материала, как правило из кремния. Диод состоит из соединенных между собой двух зон: р-типа (дефицит электронов) и n-типа (избыток электронов). Граница между этими двумя областями называется р-п-переход.



А знаете ли вы, как запомнить, что анод — это «плюс», а катод — «минус»? Количество букв в словах совпадает.



Электрическая схема диода

Существуют различные виды полупроводниковых диодов, их классификация зависит от материала, принципа работы и области использования.

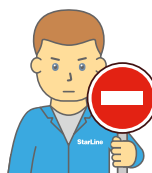
SMD-диоды бывают в корпусах SOD-123, SOD-323, MELF.



Диоды требуют соблюдения полярности при монтаже на печатную плату: минусовой вывод (катод), отмеченный полоской на корпусе, необходимо подключить к минусу, согласно конструкторской документации. Точная информация о полярности указывается в технической документации на компонент (Datasheet).



Метка полярности на диоде



Несоблюдение полярности при высоких токах приведет к необратимому тепловому пробое диода.

Одним из типов SMD-диодов являются светодиоды.



Светодиоды

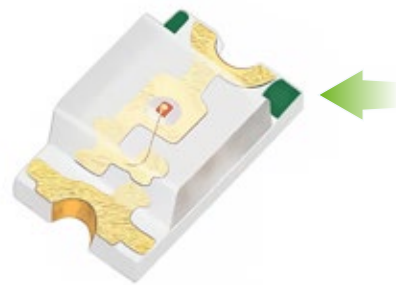
SMD-светодиод имеет корпус из термостойкого пластика со стандартными размерами. В эту пластиковую оболочку установлен полупроводниковый кристалл, который присоединен тонкими нитями к контактным площадкам.

Линза SMD-светодиода выполнена из поликарбоната, либо полупроводниковый кристалл в корпусе залит люминофором. Светодиодный люминофор представляет собой разновидность фотолюминесцентных материалов, способных поглощать энергию фиолетового и синего света от нитрида галлия или другого светодиодного чипа и преобразовывать ее в видимый свет.

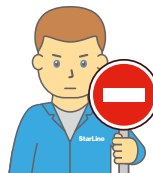
По особенностям монтажа поверхностные светодиоды бывают прямого свечения, бокового, нижнего. Также существует множество типоразмеров SMD-светодиодов.



Светодиоды требуют соблюдения полярности при монтаже на печатную плату: минусовой вывод (катод), отмеченный зеленой меткой на корпусе и различных форм зелеными стрелками на нижней поверхности корпуса, необходимо подключить к минусу, согласно конструкторской документации. Точная информация о полярности указывается в технической документации на компонент (Datasheet).



Метка полярности на светодиоде



При несоблюдении полярности светодиод не будет работать.

На сборочных чертежах и в спецификациях печатных плат диоды обычно обозначаются «VD», а светодиоды — «VD» или «LED».

6.1.2.2 Транзисторы

Транзистор — это полупроводниковый прибор, который позволяет управлять большими токами нагрузки при помощи малых управляющих токов, благодаря чему может использоваться для усиления сигналов.

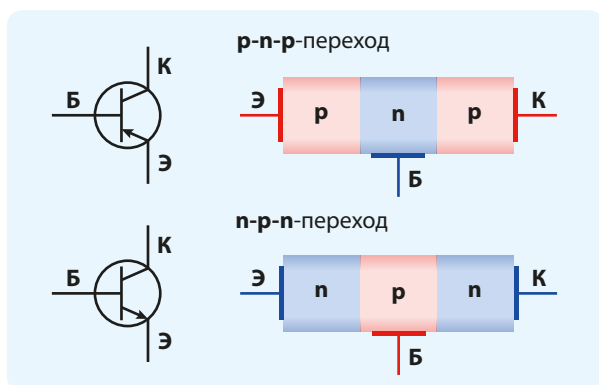
В настоящее время транзистор является основой схемотехники подавляющего большинства электронных устройств.

Транзисторы по структуре, принципу действия и параметрам делятся на два класса — биполярные и полевые (униполярные).

Биполярный транзистор — трехэлектродный полупроводниковый прибор, один из типов транзисторов. В полупроводниковой структуре сформированы два p-n-перехода.

Биполярные транзисторы бывают двух типов — N-P-N и P-N-P.

У биполярных транзисторов выводы называются база (Б), эмиттер (Э) и коллектор (К).



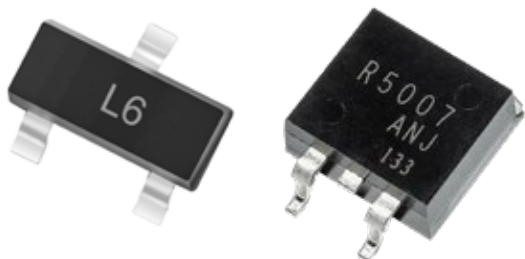
Электрическая схема P-N-P- и N-P-N-транзисторов
(Э — эмиттер, К — коллектор, Б — база)

Транзисторы N-P-N пропускают ток от коллектора к эмиттеру, P-N-P — наоборот. Транзисторы N-P-N являются более быстродействующими.

Полевой транзистор, в отличие от биполярного, управляется напряжением, а не током.

В настоящее время в аналоговой технике доминируют биполярные транзисторы. В цифровой технике, в составе микросхем (логика, память, процессоры, компьютеры, цифровая связь и т. п.), напротив, биполярные транзисторы почти полностью вытеснены полевыми.

SMD-транзисторы бывают в корпусах различных размеров и конфигураций. Широко распространены, например, корпуса SOT-23, SOT-223 и DPAK. Выводы могут располагаться с одной или двух сторон корпуса.



Транзисторы



Транзисторы требуют соблюдения полярности при монтаже на печатную плату: первый вывод, отмеченный на корпусе точкой, должен быть подключен в схему соответственно. Точная информация о полярности указывается в технической документации на компонент (Datasheet).



При несоблюдении полярности транзистор может не работать или выйти из строя.

На сборочных чертежах и в спецификациях печатных плат транзисторы обычно обозначаются «VT».

6.1.2.3 Микросхемы SMD

Микросхема SMD представляет собой интегральные схемы (ИС) или гибридные интегральные схемы (ГИС), выполненные в корпусе для поверхностного монтажа.

Степень интеграции интегральных схем (ИС):

- Малая интегральная схема (МИС) — до 100 элементов в кристалле.
- Средняя интегральная схема (СИС) — до 1000 элементов в кристалле.
- Большая интегральная схема (БИС) — до 10 000 элементов в кристалле.
- Сверхбольшая интегральная схема (СБИС) — до 1 миллиона элементов в кристалле.
- Ультрабольшая интегральная схема (УБИС) — до 1 миллиарда элементов в кристалле.
- Гигабольшая интегральная схема (ГБИС) — более 1 миллиарда элементов в кристалле.

Для правильного включения микросхемы нужно знать ее цоколевку — соответствие выводов микросхемы их функциональному назначению. Для определения первого вывода на корпусе

микросхемы имеется ключ-метка. Следует иметь в виду, что независимо от корпуса выводы микросхемы следуют в строго определенном порядке.

Существует множество типов корпусов SMD-микросхем, характеристики которых также стандартизированы.

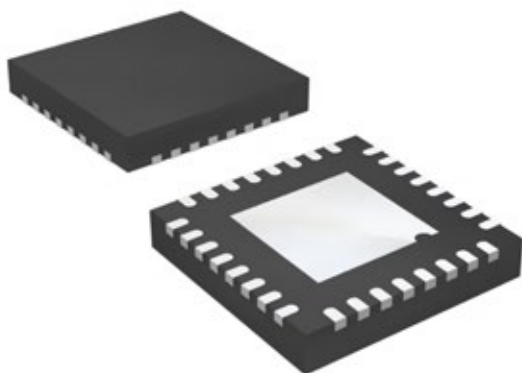
Все корпуса микросхем можно группировать по семействам. Рассмотрим некоторые из них:

1. QFN-корпус.

QFN (Quad Flat No-leads package) — семейство корпусов микросхем, имеющих планарные выводы, расположенные непосредственно под микросхемой по всем четырем сторонам. Корпус имеет квадратную форму, размер которого определяется количеством выводов.

По центру микросхемы иногда имеется площадка для припаивания к печатной плате с целью теплоотвода и дополнительного контакта с земляным полигоном на печатной плате.

Модификации корпусов в семействе QFN: TQFN, VQFN, MLF.

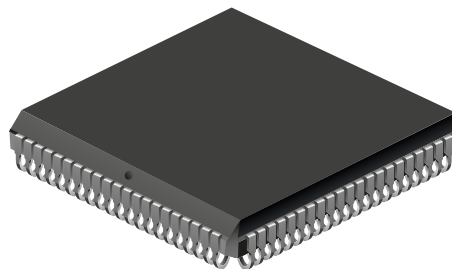


QFN-корпус

2. PLCC-корпус.

PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier) и CLCC (Ceramic Leaded Chip Carrier) — соответственно пластиковый и керамический корпус с расположенными по краям кон-

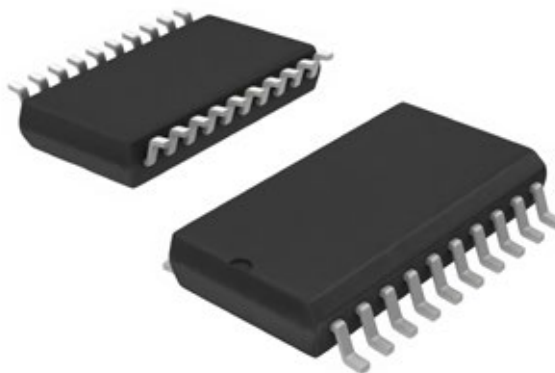
тактами, предназначенными для установки в специальный коннектор, называемый «кроваткой». Типичным представителем является микросхема BIOS в компьютерах.



PLCC-корпус

3. SOIC-корпус.

(Small-Outline Integrated Circuit), а также SOP (Small Outline Package) — маленькая микросхема с выводами по длинным сторонам. Выводы микросхемы параллельны корпусу.



SOIC-корпус

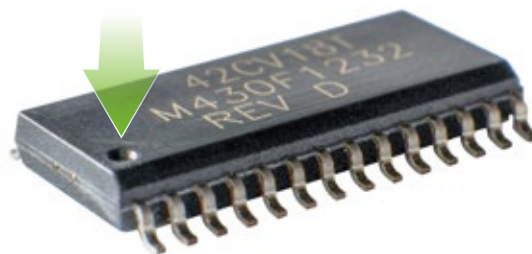
4. QFP-корпус.

QFP (Quad Flat Package) — четырехугольный плоский корпус. Главное отличие от SOIC в том, что выводы размещены на всех сторонах такой микросхемы.

Основные модификации корпуса QFP: PQFP, LQFP, CQFP, HQFP, TQFP.



QFP-корпус

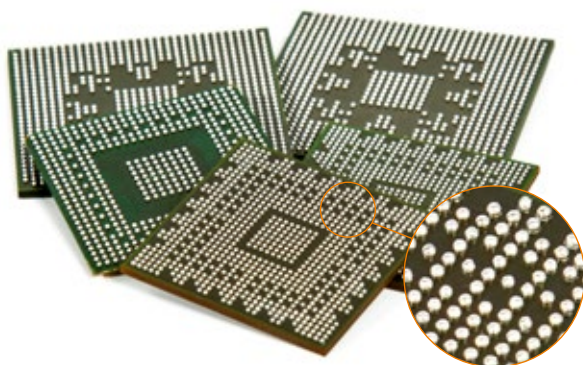


Метка полярности на микросхеме

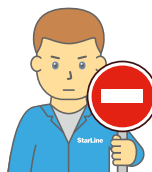
5. BGA-корпус.

BGA (Ball Grid Array) — матрица из шариков-выводов под корпусом.

BGA — это решение проблемы производства миниатюрного корпуса интегральных схем с большим количеством выводов.



BGA-корпус



При несоблюдении полярности микросхема не будет работать или может выйти из строя.

На чертежах и в спецификациях микросхемы обычно обозначаются «D», «DD».



Микросхемы требуют соблюдения полярности при монтаже на печатную плату: первый вывод, отмеченный на корпусе меткой (точкой), необходимо подключить к соответствующей площадке на плате. Точная информация о полярности указывается в технической документации на компонент (Datasheet).

6.2 Упаковка SMD-компонентов

По разработанным JEDEC отраслевым стандартам все виды упаковок изготавливаются определенных размеров, форм и отвечают заданным требованиям.

Упаковка для поверхностных компонентов выполняет следующие функции:

- защищает от повреждений при транспортировке и монтаже;
- защищает от влаги и электростатических разрядов;
- позволяет осуществить автоматическую подачу компонентов (из питателя) при монтаже.

Существуют следующие виды упаковки SMD-компонентов согласно JEDEC:

- упаковка в бумажные и пластиковые блистерные ленты (tape and reel);
- упаковка в пеналы или стики (stick magazine);
- упаковка в поддоны с ячейками или треи (tray).

Лента в катушках

Наиболее удобной упаковкой для автоматизированного SMT-монтажа является блистерная лента. Пассивные чип-компоненты малых типоразмеров, как правило, упаковываются в бумажные

ленты, а более крупные пассивные и активные — в пластиковые, выполненные из антистатического полистирола. Ленты с компонентами наматываются на антистатическую катушку.



Упаковка SMD-компонентов в ленты



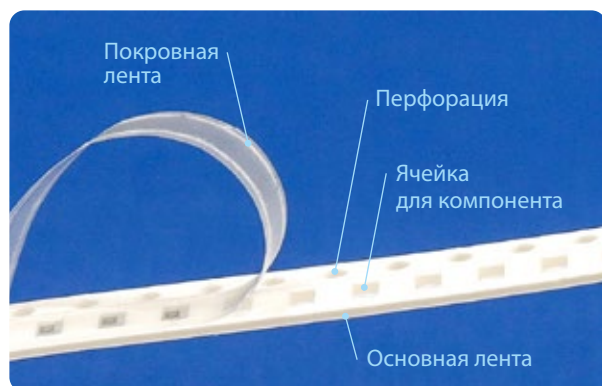
Упаковка SMD-компонентов в ленты



Катушки с намотанными лентами

В данном типе упаковки четыре важных составляющих:

- Лента-носитель (основная лента).
- Покровная лента.
- Перфорация.
- Ячейка для компонента.



Составляющие ленты

Лента-носитель имеет определенную стандартизированную ширину: 8, 12, 24, 32, 44, 56, 72, 88, 104 и более мм.

Также важным параметром для ленты является шаг между центрами соседних ячеек. Он должен соответствовать отраслевым стандартам (шаг между центрами кратен 2 мм).

Шаг перфорации ленты всегда равен 4 мм.

Лента-носитель с компонентами в ячейках запаивается защитной пленкой или, как ее еще называют, покровной лентой.

Трей для электронных компонентов

Трей предназначены для компонентов, которые имеют выводы с четырех сторон (корпуса QFP) и требуют сохранности выводов компонентов во время транспортировки, упаковки или входного контроля. Трей складываются и перевязываются вместе, образуя стандартные варианты упаковки.



Упаковка SMD-компонентов в трей

Пеналы

Пеналы были разработаны на начальных этапах развития индустрии интегральных схем (ИС). Стик-контейнеры имеют стандартные формы, которые используются для транспортировки и хранения электронных компонентов. Стики также используются для автоматической подачи компонентов с помощью вибропитателей при поверхностном монтаже.



Упаковка SMD-компонентов в пеналы

6.3 Стандарты при обращении с SMD-компонентами

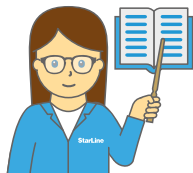
6.3.1 Защита от электростатического разряда

Когда два электрически заряженных объекта, таких как человеческое тело и электронное устройство, соприкасаются друг с другом, происходит разряд статического электричества. Это явление называется ESD (электростатический разряд).

Электростатический заряд, генерируемый человеческим телом, может составлять порядка нескольких тысяч вольт. Этот импульс высокого напряжения поступает в электронное устройство, к которому прикасаются, что может привести к неисправности или разрушению цепей интегральных схем (ИС) внутри него.

Меры противодействия электростатическому разряду необходимы во всех точках, где электрические устройства могут вступить в контакт с человеком или заряженным объектом.

Меры по защите от ESD описаны в отечественном стандарте ГОСТ IEC 61340, а также в международном ANSI/ESD 20.20.



Человек, идущий по ковру, способен генерировать на теле 15 000 В! При этом разряд, который возникает при напряжении менее 3500 В, человек не ощущает. Для современных микросхем потенциал в 30 В является смертельным.

При передаче электрического заряда от человека к электронному устройству оно может как сразу выйти из строя, так и через какое-то время. Во втором случае при первичном разряде произошло частичное разрушение проводника в микросхеме, какое-то время устройство продолжало функционировать, но при постоянных нагрузках произошло полное разрушение проводника в микросхеме.

Поэтому все современные радиоэлектронные предприятия, контролирующие качество своей продукции на всех этапах технологической сборки, используют в своей практике стандарты по защите от ESD-повреждений. Система мер по защите от разрядов статического электричества называется программой ESD-контроля (ESD Control Program).



Известен факт, что после внедрения на производстве комплекса программ по ESD-защите ведущие производители снизили потери от брака в два раза!

В программу ESD-контроля входит создание зоны защиты от статического электричества (EPA).

EPA-зона — зона, защищенная от электростатического разряда, представляет собой определенное пространство, в котором все поверхности, объекты, люди и устройства имеют одинаковый электростатический потенциал.

Границы такой зоны промаркированы специальной разметкой и информационной табличкой.



Разметка EPA-зоны



Основной целью программы ESD-контроля является уменьшение образования и накопления электрического заряда.

Действиями по уменьшению образования заряда являются:

- Устранение из зоны EPA процессов или материалов, генерирующих статический заряд.
- Поддержание одинакового электростатического потенциала всех контактирующих в процессе работы поверхностей. Данное требование выполняется при помощи заземления оборудования и поверхностей.
- Безопасное рассеивание или нейтрализация электростатических зарядов. С этой целью в зоне EPA делают токопроводящие полы, которые способствуют стеканию и рассеиванию заряда, благодаря чему выравнивается потенциал.

- Соответствующая упаковка и тара для хранения и транспортировки. Компоненты, чувствительные к ESD, помечаются заводом-изготовителем специальным знаком.

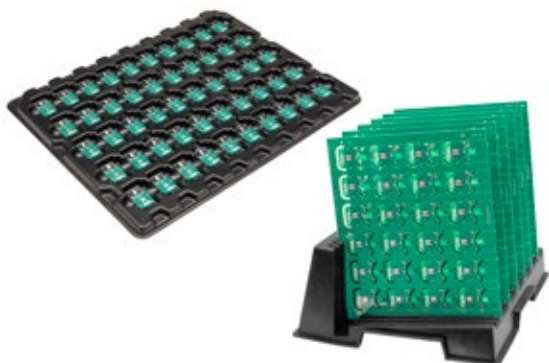


ESD-компоненты должны храниться в антистатической таре или упаковке. Завод-изготовитель электронных компонентов упаковывает свою продукцию в специальную защитную упаковку. При обращении с ESD-компонентами внутри производства применяются экранирующие и рассеивающие статические заряды пакеты, антистатические лотки, контейнеры.



Антистатические упаковки

Для транспортировки печатных плат и узлов применяются антистатические тележки, подставки, магазины.



Тары для хранения и транспортировки печатных плат и узлов

К индивидуальным средствам защиты от ESD относятся:

- Антистатический халат — обеспечивает удаление статического заряда, возникающего при трении тканей друг об друга или о тело человека. Изготавливается из смесовой ткани, состоящей из хлопка, полиэстера и карбоновой нити, по которой рассеивается заряд.



Антистатические халаты

- Антистатическая обувь — обувь, обеспечивающая стекание статического заряда с ног в токопроводящий пол. Подошва выполнена из высококачествен-

ного полиуретана, поверхностное сопротивление которого 10^5 – 10^8 Ом.

К антистатической обуви также относятся специализированные бахилы и ремешки.



Антистатическая обувь

- Антистатический браслет — браслет, обеспечивающий стекание заряда с тела на заземление. Антистатический браслет представляет собой манжет со шнуром заземления. Браслет надевается на запястье руки, необходимо достичь тесного контакта между металлической пластиной и кожей. Для сброса заряда браслеты подключаются к контурам заземления с помощью провода.



Подключение антистатического браслета

- Антистатические перчатки — перчатки, минимизирующие вероятность возникновения электростатического разряда

при взаимодействии с чувствительными к электростатическому разряду компонентами и печатными узлами.



Антистатические перчатки

Низкое сопротивление поверхности антистатических перчаток предотвращает возникновение электростатического заряда, а также концентрацию разряда в одной точке.

6.3.2 Защита компонентов от влаги

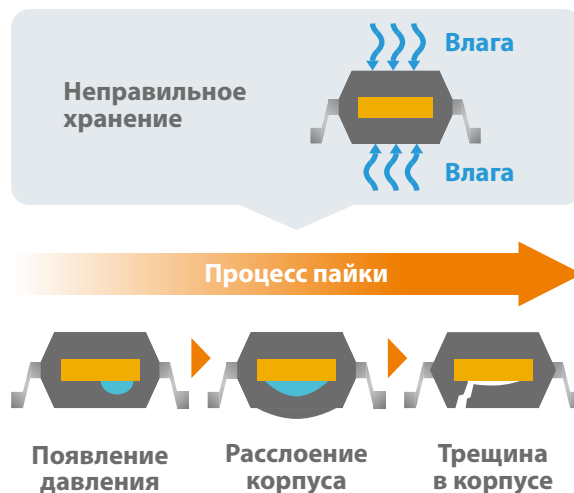
MSD (Moisture Sensitivity Device) — электронные компоненты, чувствительные к влаге.

Все электронные компоненты являются в разной степени чувствительными к влаге, содержащейся в окружающей среде. Влага со временем проникает в корпуса компонентов и накапливается в пустотах и микротрещинах.

При автоматизированном SMT-монтаже в процессе оплавления паяльной пасты температура корпусов компонентов превышает значение 200 °С, а температура кипения воды составляет 100 °С.

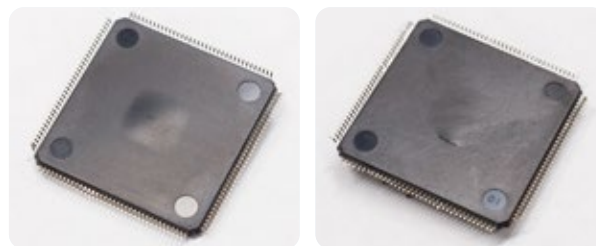
Поэтому если в работу был допущен компонент, впитавший влагу, то влага в корпусе закипает, давление пара в пустотах возрастает, что приводит к растрескиванию компонента и возможному выходу его из строя.

Большая часть повреждений компонентов от влаги не видна на поверхности корпуса. В крайних случаях трещины и вздутие будут распространяться на поверхность компонента.



Процесс образования трещин и вздутия на корпусе компонента

В самых крайних случаях компонент будет вздуваться и лопаться. В терминологии дефектов это называется «эффект попкорна».



Поврежденные компоненты

Для предотвращения подобных повреждений компонентов разработаны правила и рекомендации по обращению с влагочувствительными компонентами, которые включают в себя:

- правила упаковки влагочувствительных компонентов;
- правила хранения влагочувствительных компонентов;

- правила сушки влагочувствительных компонентов.

Основными международными стандартами, посвященными обращению с влагочувствительными компонентами, являются:

1. IPC/JEDEC J-STD-020 — классификация влагочувствительных компонентов.
2. EIA/JEDEC JEP-113 — обозначение влагочувствительных компонентов.
3. IPC/JEDEC J-STD-033 — порядок обращения с влагочувствительными компонентами.

Электронные компоненты разделяют по уровню чувствительности к влажности (таблица ниже).

MSL (Moisture Sensitivity Level) — уровень чувствительности компонента к влаге, который определяет время, в течение которого компонент может подвергаться воздействию условий окружающей среды.

Уровни чувствительности электронных компонентов к влажности (MSL) по стандарту IPC/JEDEC J-STD-020:

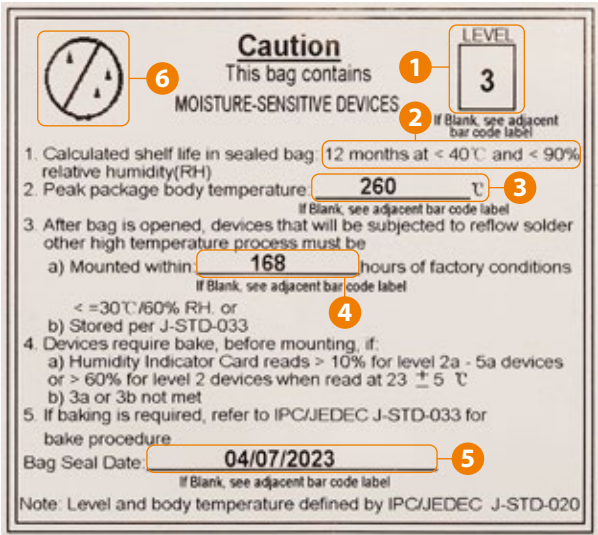
Уровень MSL	Безопасное время после вскрытия защитного пакета (floor life)	
	Время	Условия хранения
1	Неограниченно	≤30 °C; 85%
2	1 год	≤30 °C; 60%
2a	4 недели	≤30 °C; 60%
3	168 часов	≤30 °C; 60%
4	72 часа	≤30 °C; 60%
5	48 часов	≤30 °C; 60%
5a	24 часа	≤30 °C; 60%
6	Необходима сушка перед использованием. Время хранения после сушки указано на наклейке (Time on Label, TOL)	≤30 °C; 60%

Безопасное время хранения компонента (Floor Life) — допустимый период времени между извлечением чувствительных к влаге устройств из влагозащитной упаковки или шкафа сухого хранения и процессом пайки.

Уровень MSL для конкретного компонента указан в документации от производителя (Datasheet) или на этикетке.

Информация на предупреждающей этикетке для компонентов с уровнем MSL 2–5a:

- 1 Уровень MSL.
- 2 Время безопасного хранения в защитном пакете (calculated shelf life).
- 3 Максимальная температура корпуса (peak package body temperature).
- 4 Безопасный интервал времени между извлечением электронного компонента из защитного пакета и пайкой (floor life).
- 5 Дата герметичного запечатывания пакета (bag seal date).
- 6 Предупреждающий знак о чувствительности компонента к влаге (Caution Moisture-Sensitive).



Предупреждающая наклейка

6.3.2.1 Правила упаковки влагочувствительных компонентов

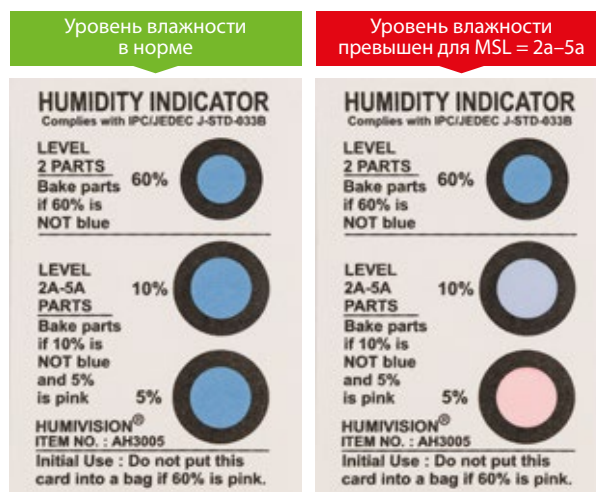
В стандарте J-STD-033 указаны требования к упаковке влагочувствительных компонентов (таблица ниже). Согласно этим требованиям компоненты поставляются в герметично закрываемых пакетах с защитой от влажности, влагопоглотителем и карточкой — индикатором влажности. Пакет должен быть гибким, обладать защитой от статического электричества, механической прочностью, стойкостью к проколам и возможностью термосклеивания.

Упаковка в пакет происходит путем запаивания шва с выкачиванием воздуха изнутри. Другими словами, происходит вакуумирование пакета с катушками или тремя.

Карточка — индикатор влажности, как правило, представляет собой бумажную карточку, снабженную тремя цветными кружками, впитывающими влагу, — индикаторами уровней относительной влажности в 5, 10 и 60%. Об уровне влажности судят по изменению цветов соответствующих кружков согласно инструкции на карточке. Могут быть использованы другие цветовые схемы или большее количество индикаторов (цветовых кружков). Карточка сохраняет достоверность показаний в закрытом пакете до пяти лет.



Вакуумированная упаковка



Пример карточки-индикатора

Требования к упаковке электронных компонентов по стандарту IPC/JEDEC J-STD-033:

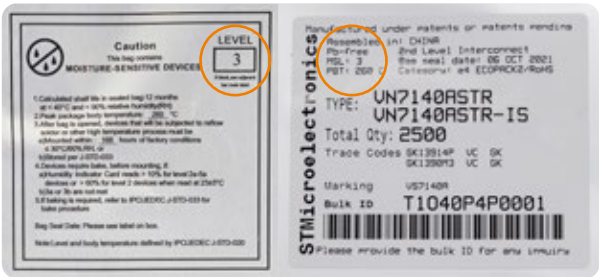
Уровень MSL	Сушка перед упаковкой	Влагонепроницаемый пакет	Влагопоглотитель	Предупреждающий знак о чувствительности к влаге	Информационная этикетка
1	Не обязательна	Не обязателен	Не обязателен	Не требуется	Не требуется, если компоненты классифицированы для температур 220–225 °C. Требуется, если компоненты классифицированы для температур, отличных от 220–225 °C.
2	Не обязательна	Требуется	Требуется	Требуется	Требуется
2a–5a	Требуется	Требуется	Требуется	Требуется	Требуется
6	Не обязательна	Не обязателен	Не обязателен	Требуется	Требуется

Влагопоглотитель должен быть некоррозионным, не образовывать пыли, быть упакованным во влагонепроницаемый пакетик и обладать требуемыми абсорбирующими свойствами. Количество влагопоглотителя должно обеспечивать внутри упаковки относительную влажность менее 10% при 25 °С.



Влагопоглотитель

Производитель компонентов на заводской упаковке указывает уровень влагочувствительности компонента:



Примеры упаковок влагочувствительных компонентов

6.3.2.2 Правила хранения и обращения с влагочувствительными компонентами

Правила обращения с влагочувствительными компонентами можно разделить на два этапа:

- 1. **Обращение с влагочувствительными компонентами до вскрытия упаковки.**
 - По истечении времени безопасного хранения в защитном пакете (calculated

- shelf life) нельзя брать в работу компоненты без проверки.
- Если время безопасного хранения пакета истекло, но карточка-индикатор показывает допустимый уровень влажности, то возможно использование компонентов для сборки.
- Если найдены повреждения упаковки и/или карточка-индикатор показывает превышенный уровень влажности, то катушки или треи с компонентами помещаются в шкаф сухого хранения для осуществления дальнейшей сушки влагочувствительных компонентов.

2. Обращение с влагочувствительными компонентами после вскрытия упаковки.

В процессе производства используются не все компоненты из вскрытой упаковки. При невозможности повторной герметизации компонентов в упаковке следует использовать шкафы сухого хранения.



Шкаф сухого хранения

Нахождение компонентов в шкафу сухого хранения с относительной влажностью менее 5% приравнивается к хранению во влагозащитной упаковке.

На производствах НПО СтарЛайн мониторинг влапочувствительных компонентов выполняет автоматизированная система PanaCIM. Система фиксирует момент вскрытия конкретной упаковки, приостанавливает отсчет времени «floor life» при помещении в шкаф сухого хранения, запрещает использовать компонент с истекшим «floor life», возобновляет время после сушки и т. д.

6.3.2.3 Правила сушки влапочувствительных компонентов

При вскрытии упаковки MSD-компонента начинается отсчет времени безопасного хранения на открытом воздухе согласно предписанию уровня MSL. По окончании этого времени компонент необходимо высушить.

Существует множество режимов и методов сушки MSD-компонентов, например сушка в сушильном шкафу в атмосфере азота или воздуха при различных температурах. На производствах НПО СтарЛайн используются сушильные шкафы Snol и Nabertherm с принудительной воздушной конвекцией для сушки.



Сушильный шкаф Snol

В стандарте IPC JEDEC J-STD-033 приведены условия сушки (время и температура) электронных компонентов в зависимости от толщины корпуса. Стандарт IPC JEDEC J-STD-033 содержит рекомендации по обращению, упаковке, транспортировке и использованию компонентов, чувствительных к влаге.

Наиболее оптимальным режимом для сушки является сушка компонентов при температуре 90 °C, так как температура не достигает точки кипения влаги.

Максимальная температура сушки компонентов в катушках с лентами (пластиковые, бумажные), в отдельных лентах или пластиковых пеналах составляет 40 °C.

Компоненты в высокотемпературных пеналах и трейх допускаются до сушки при температурах 90 и 125 °C.

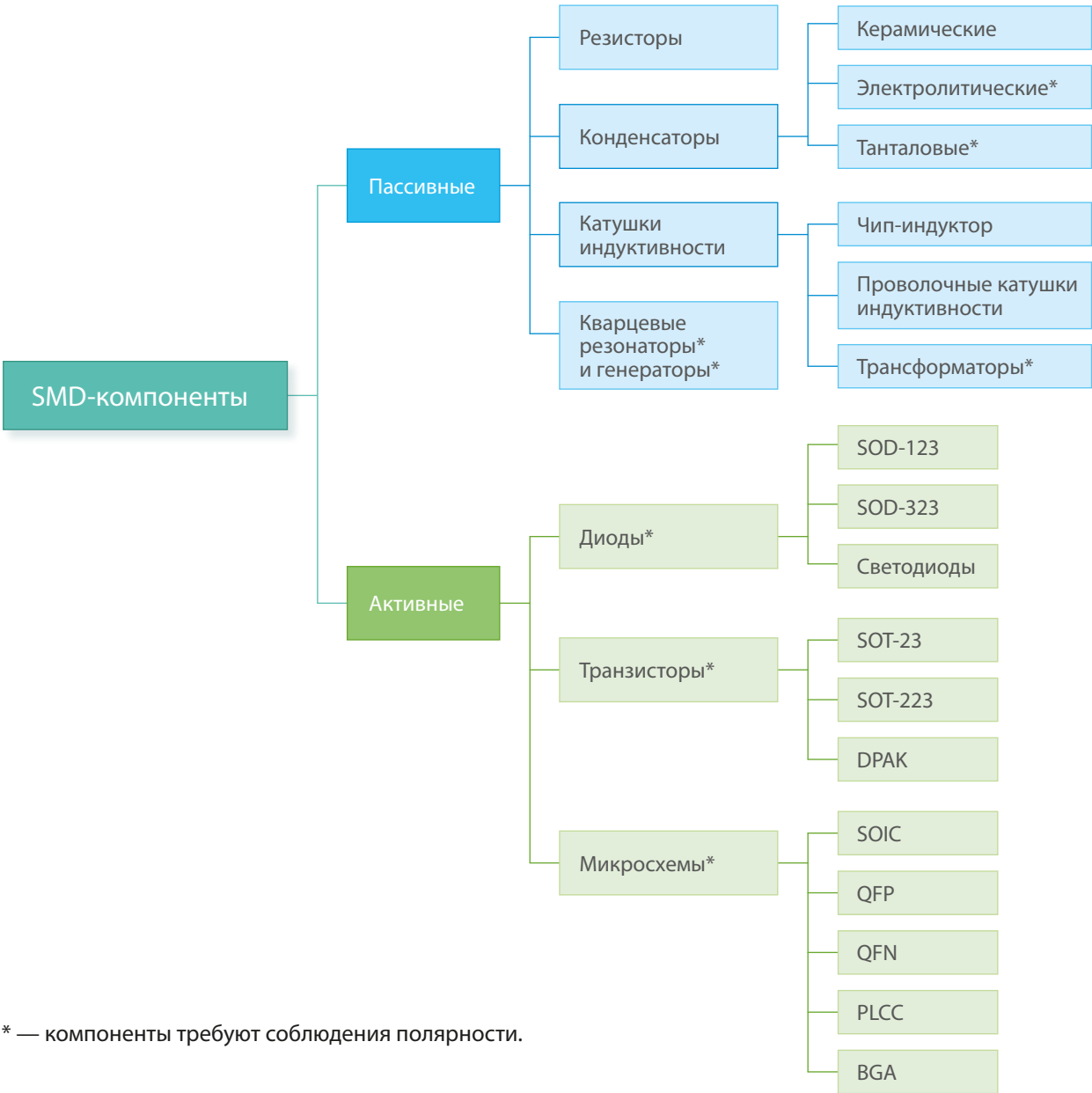


Высокотемпературные трейи

С целью повышения скорости сушки компонентов допускается метод высокотемпературной сушки при 125 °C. Однако следует обратить внимание, что данный метод является достаточно жестким по воздействию на компоненты и рекомендуется к использованию только в исключительных случаях. Сушка при температурах выше 125 °C не допустима без консультации с поставщиком компонентов.

После проведения сушки компонента время безопасного хранения на открытом воздухе (floor life) обнуляется.

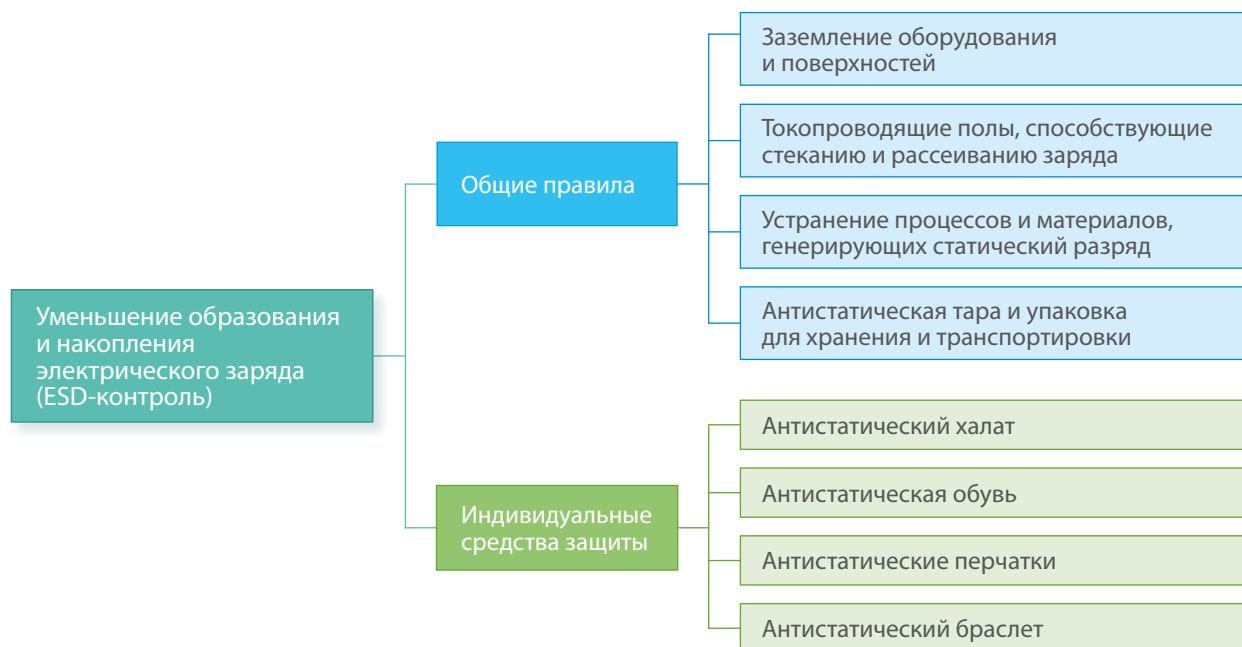
SMD-компоненты. Схема-памятка



Упаковка SMD-компонентов. Схема-памятка

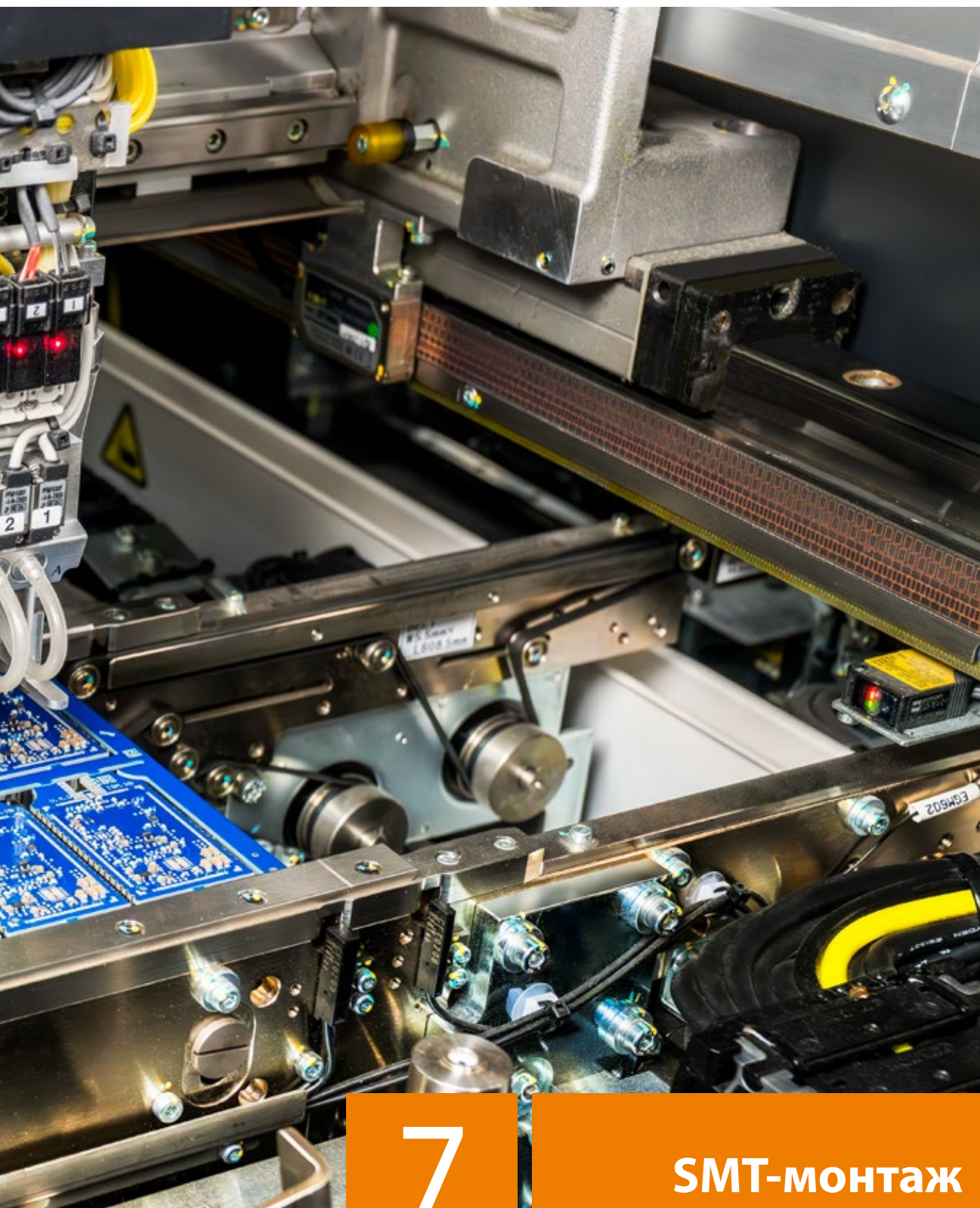


ESD-контроль. Схема-памятка



Защита компонентов от влаги. Схема-памятка



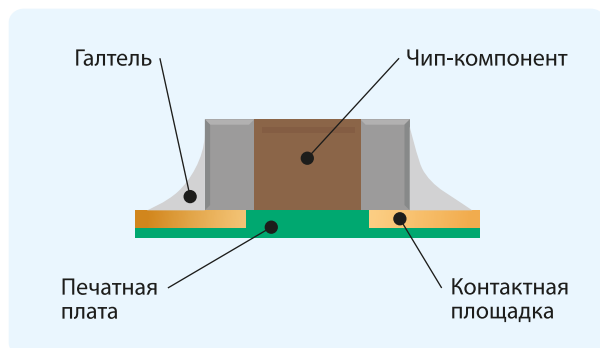


7

SMT-монтаж

7.1 История возникновения SMT-монтажа

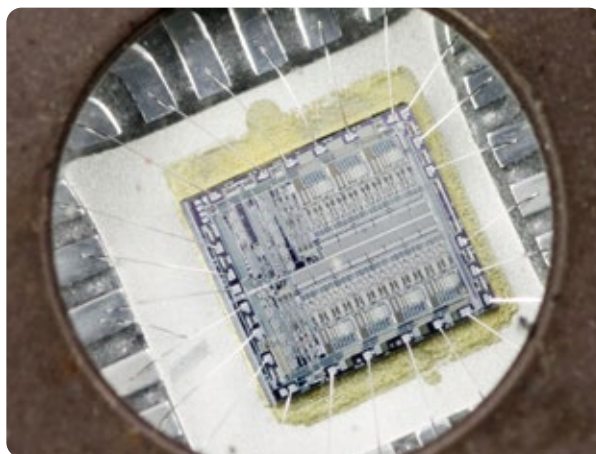
SMT (Surface Mount Technology) — это технология поверхностного монтажа, при которой электронные компоненты устанавливаются непосредственно на поверхность печатной платы (PCB — Printed Circuit Board).



Компонент на поверхности печатной платы

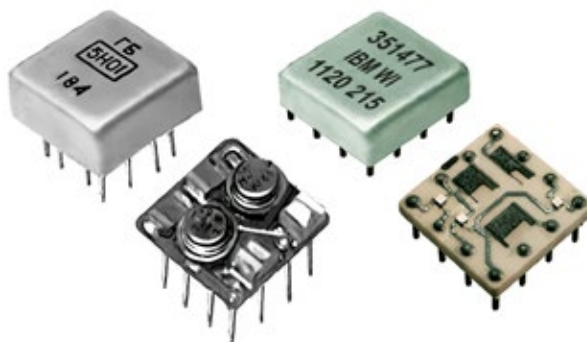
Технология поверхностного монтажа начала свое развитие в 1960-х, когда начались разработки монтажа гибридных микросхем, для которых было трудно получить отверстия в керамической подложке, и получила широкое применение к концу 1980-х годов. Основными деятелями в этой области разработок были Дж. Килби (США), Р. Нойс (США), Ю. Осокин (СССР).

Интегральная схема (ИС) — это совокупность электрически связанных компонентов (транзисторов, диодов, резисторов и др.), изготовленных в едином технологическом цикле на единой полупроводниковой основе (подложке).



Кремниевые кристаллы интегральной схемы

Гибридная интегральная схема (ГИС) — интегральная схема, в которой наряду с элементами, неразъемно связанными на поверхности или в объеме подложки, используются навесные микроминиатюрные элементы.



Гибридные интегральные схемы



А знаете ли вы первопроходцев советской микроэлектроники?

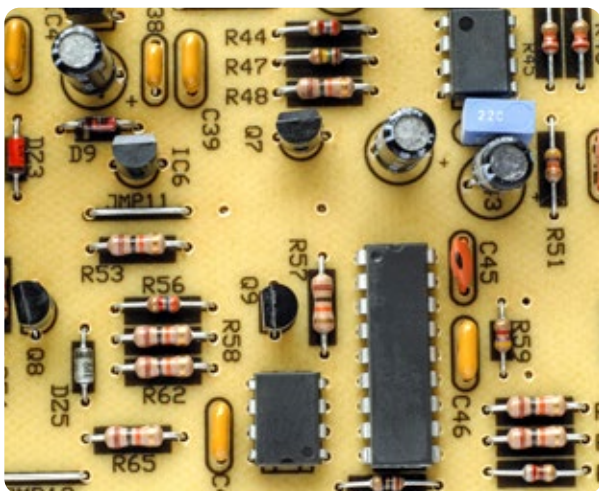
Юрий Валентинович Осокин (02.08.1937 — 07.05.2013) — советский российский ученый, первопроходец советской микроэлектроники.



Родился 2 августа 1937 года в Анжеро-Судженске Кемеровской области в семье военного врача. После окончания Московского энергетического института (электромеханический факультет) по распределению работал на Рижском заводе полупроводниковых приборов начальником конструкторского бюро.

В 1962 г. в качестве главного конструктора по заказу НИИРЭ разработал первую в СССР и третью в мире (после ИС Дж. Килби и Р. Нойса) полупроводниковую интегральную схему Р12-2 (серия 102). Она была самая маленькая в мире, ее корпус имел диаметр 3 мм и высоту 0,8 мм. Интегральные схемы серий 102, 103, 116 и 117 выпускались до середины 1990-х годов, т. е. более 30 лет.

До появления технологии поверхностного монтажа преобладал выводной монтаж в отверстие.

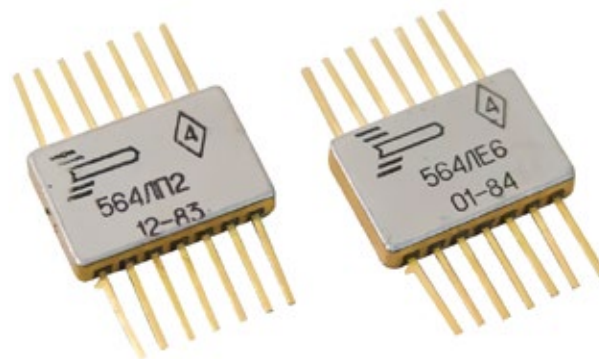


Пример платы, выполненной по технологии ТНТ

Технология монтажа в отверстие (ТНТ — Through-hole Technology) — это технология установки выводных компонентов и электронных узлов на печатные платы, при которой выводы компонентов монтируются в сквозные отверстия печатной платы.

Предпосылками к появлению технологии поверхностного монтажа явились растущие требования к микроминиатюризации и технологичности печатных узлов для автоматизированной сборки (в условиях расширения области применения электроники как для специальных, так и для бытовых нужд).

Монтаж микросхем на поверхностные контактные площадки без отверстий, так называемый планарный монтаж, в то время успешно применялся в специальной технике. Корпуса микросхем для планарного монтажа имели выводы по двум или четырем сторонам. Обрезка и формовка выводов осуществлялась перед установкой, после чего микросхема фиксировалась на клей и припаивалась паяльниками.



Планарные интегральные микросхемы

Одним из первопроходцев в этой технологии была IBM. Элементы были перепроектированы таким образом, чтобы уменьшить контактные площадки и выводы, которые бы паялись непосредственно к поверхности печатной платы.

Новаторский подход был применен для создания приборного блока компьютера, установленного на ступени ракет «Сатурн V» и «Сатурн IB» (США).

В ранний период зарождения поверхностного монтажа существовала другая технология —

технология гибридных модулей и микросхем, в которой применялись компоненты с укороченными выводами или вообще без выводов, устанавливаемые на керамические подложки. Такие компоненты применялись в СВЧ-технике, где длина выводов может оказывать существенное влияние на качество сигнала.

Дело сдвинулось с мертвой точки, когда японские изготовители электронных устройств в конце 1970-х годов начали первыми в мире монтировать пассивные чип-компоненты, ранее применявшиеся только в гибридных интегральных схемах и микросборках, непосредственно на поверхность печатной платы.

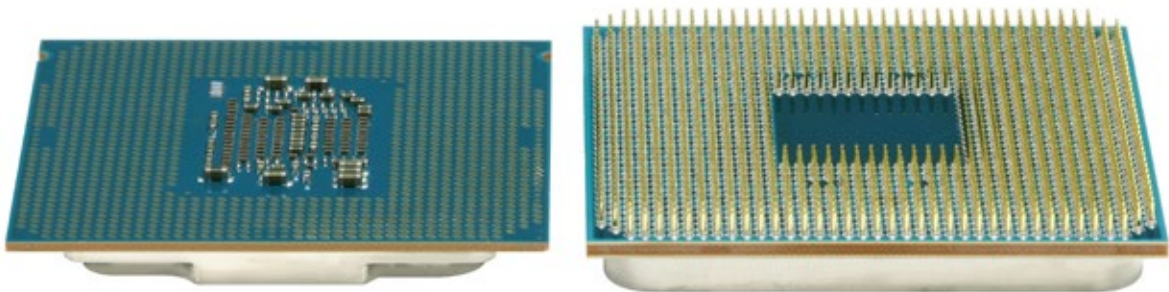
Самые ранние интегральные схемы упаковывались в плоские керамические корпуса. Такой тип корпусов широко использовался военными из-за его надежности и небольшого размера. Коммерческие микросхемы перешли к корпусам DIP (Dual In-line Package), сначала изготавливаемым из керамики, а затем из пластика. В 1980-х годах количество контактов интегральных схем превысило возможности DIP-корпусов, что привело к созданию корпусов **PGA** (Pin Grid Array — матрица из штырьковых выводов) и LCC (Leadless Chip Carrier).

В конце 1980-х, с ростом популярности поверхностного монтажа, появляются корпуса SOIC (Small-Outline Integrated Circuit), имеющие на 30–50% меньшую площадь, чем DIP, и на 70%

более тонкие, и корпуса PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier). В 1990-х начинается широкое использование PQFP (Plastic Quad Flat Pack) и TSOP (Thin Small-Outline Package) для интегральных схем с большим количеством выводов. Для сложных микропроцессоров, особенно для устанавливаемых в сокет, используются PGA-корпуса. В настоящее время Intel и AMD перешли от корпусов PGA к **LGA** (Land Grid Array — матрица из контактных площадок).

Технология монтажа на поверхность позволила существенно уменьшить массу и габариты печатных узлов, улучшить электрические характеристики и повысить технологичность сборки устройств.

К 1985 году элементы поверхностного монтажа составляли всего 10% от общей доли рынка, но быстро стали пользоваться спросом и популярностью. Уже в начале XXI века большинство современных электронных печатных плат изготавливались по технологии поверхностного монтажа. Элементы при поверхностном монтаже устанавливаются в определенное место роботизированным способом, поэтому печатная плата может быть изготовлена полностью действиями автоматизированной машины. Благодаря этому платы становятся компактнее и доступнее — ручной труд заменяется автоматизацией.



Примеры LGA- и PGA-корпусов

7.2 Преимущества поверхностного монтажа (SMT)

Технология поверхностного монтажа (SMT) по сравнению с технологией монтажа в отверстия (THT) обладает рядом преимуществ как в конструкторском, так и технологическом аспекте:

- **Снижение габаритов и массы печатных узлов.**

Габариты и масса SMD-компонентов в два и более раз меньше по сравнению с выводными компонентами. Отсутствие отверстий на печатной плате позволяет увеличить плотность монтажа SMD-компонентов, а также SMT-монтаж позволяет установить эти компоненты с обеих сторон печатной платы.

- **Улучшение электрических характеристик.**

За счет уменьшения длины выводов и более плотного монтажа компонентов значительно улучшается качество передачи слабых и высокочастотных сигналов.

- **Повышение технологичности.**

Поверхностный монтаж исключает из технологического процесса следующие операции: сверление отверстий (для монтажа компонентов), формовка выводов и ручная установка компонентов в отверстия. Таким образом, при использовании SMD-компонентов обеспечивается высокая степень автоматизации процессов, от нанесения пасты до оплавления припоя.

- **Повышение ремонтопригодности.**

Современное ремонтное оборудование позволяет снимать и устанавливать компоненты без повреждений даже при большом количестве выводов.

- **Снижение себестоимости.**

За счет повышения технологичности расходы на дополнительные операции сокращаются примерно в три раза, а обеспечение полной автоматизации повышает качество производства ориентировочно в 100 раз (за счет исключения дефектов по причине «человеческого фактора»).

7.3 Оборудование, используемое для SMT-монтажа

Автоматизация процесса сборки достигается с помощью применения автоматов-установщиков.

Существуют следующие виды установки компонентов в зависимости от степени автоматизации:

1. Ручная установка с помощью оборудования.
2. Полуавтоматическая сборка.
3. Автоматизированная установка компонентов.

7.3.1 Ручная установка с помощью оборудования

При единичном и мелкосерийном производстве может применяться ручная установка с помощью вакуумного пинцета или **манипулятора**.

Манипулятор — простейшее устройство, оснащенное вакуумным пинцетом, который перемещается оператором по осям X, Y, Z и обеспечивает правильную ориентацию компонента также оператором.

Детали для монтажа располагаются россыпью в так называемой «карусели» с ячейками, которая движется по кругу. Вакуум в пинцете включается при захвате компонента и отключается при его установке автоматически. Производительность,

обеспечиваемая манипулятором, зависит от опыта оператора и составляет от 150 до 600 компонентов в час. Такое оборудование целесообразно использовать для создания прототипов и в учебных целях.



Манипулятор для установки SMD-компонентов

7.3.2 Полуавтоматическая сборка

Полуавтомат позволяет повысить производительность и исключить ошибки, связанные с неправильно установленными и неправильно ориентированными компонентами. Это достигается благодаря программному обеспечению, контролирующему действия оператора и выдающему подсказки о месте захвата и месте установки. Захват компонента с неправильного питателя исключается, так как в этом случае в пинцете не включается вакуум. Такие машины применяются в основном в опытном и мелкосерийном производствах.



Полуавтоматический установщик SMD-компонентов



А знаете ли вы, как определяется производительность автоматизированных установщиков?

Производительность автоматов определяется по IPC-9850. Производительность подтверждается по методике с использованием стандартной платы и компонентов (как правило, конденсаторов типоразмера 0603). Назначение этой характеристики — сравнить автоматы разных производителей. Методика предусматривает установку компонентов по стандартной программе на стандартную плату. Причем учитывается время, затраченное не только на сборку платы, но и на считывание реперных знаков, фиксацию и разблокирование платы в рабочей зоне автомата. Но реальная производительность, как правило, составляет 50–70% от максимальной по спецификации, так как отличаются размеры печатных плат, расположение, тип и количество компонентов, технические потери, наличие специальных опций у автомата.

Компоненты становятся все меньше и меньше, а плотность монтажа печатных плат все увеличивается. Поэтому точность стала одним из самых важных параметров при выборе нового установщика.

Существует два основных типа установочных автоматов (автоматических установщиков компонентов):

1. **Револьверные.**
2. **Портальные.**

В зависимости от требуемой точности установки и скорости монтажа автоматизированные установщики компонентов разделяются на:

1. Оборудование начального уровня (мелкосерийные, до 7000 компонентов в час).
2. Среднесерийные (7000 — 30 000 компонентов в час).
3. Высокоскоростные (30 000 — 200 000 компонентов в час).

7.3.3.1 Револьверные установочные автоматы

Базовый револьверный автомат использовался для установки пассивных SMD-компонентов (например, конденсаторов, резисторов) на самых ранних стадиях развития технологии поверхностного монтажа. Револьверная головка автоматического установщика представлена на рисунке.



Револьверная головка

Несколько захватывающих сопел располагаются по кругу стационарной револьверной головки, вращающейся в горизонтальной плоскости. Движущаяся тележка устанавливает ленты питателей, из которых радиокомпоненты подаются на каждое сопло. После захвата элемента револьверный барабан поворачивает его к оптической рабочей станции для получения изображения на камере прибора. Это изображение затем обрабатывается и идентифицируется, чтобы установить радиокомпонент в заданном месте печатной платы. При вращении револьверной головки движущийся стол позиционирует печатную плату таким образом, чтобы нужное место находилось точно под головкой с компонентом. Головка опускается на печатную плату, устанавливая компоненты. Затем головка поворачивается для захвата следующего радиоэлемента — цикл повторяется.

В таблице ниже даны общие технические характеристики револьверных установочных автоматов. Эта технология используется для установки мелких пассивных компонентов (типоразмеров 0201 и 0402).

Технические характеристики автоматов-установщиков револьверного типа:

Характеристика	Величина (описание)
Размер устанавливаемых элементов	От пассивных устройств типоразмером 0201 до компонентов 200×125×40 мм
Скорость установки	25 000 — 40 000 компонентов в час

Преимуществом головок револьверного типа является скорость, поэтому выпускаются портальные автоматы (плата при установке зафиксирована) с головкой револьверного типа. Распознавание компонентов на таких машинах осуществляется «на лету» головными камерами, при этом центрирование производится уже в процессе перемещения от места захвата к месту установки, что существенно увеличивает производительность автомата. Диапазон устанавливаемых компонентов также увеличился до 200×125×40 мм.

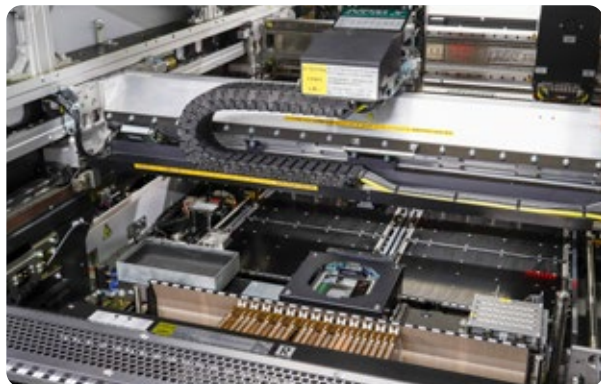
7.3.3.2 Портальные установочные автоматы

В портальных установщиках при монтаже неподвижно стоят и платы, и питатели, а движется только установочная головка.

Портальные системы имеют высокую точность установки и могут работать со всеми типоразмерами. Простота переналадки дает возможность использования при мелкосерийном производстве.

Для повышения производительности установочные головки делаются двойными: пока одна головка выполняет позиционирование и установку, вторая осуществляет захват и центрирование компонента.

Типичные системы порталных автоматов имеют станции центрирования: установочная головка подводит компонент к системе видеонаблюдения, затем, после центрирования, осуществляется перемещение в зону установки.



Установщик компонентов портального типа

Дальнейшие улучшения оборудования для монтажа радиокомпонентов реализуются в автоматах с модулями параллельно работающих головок. Проще говоря, это несколько соединенных в линию автоматов установки. Скорость установки на таком оборудовании возрастает до уровня 60 000 — 100 000 компонентов в час. Модули отличаются возможностями установочных головок, количеством захватов в ней.

Несколько установочных модулей способны параллельно захватывать, центрировать и устанавливать радиоэлементы в соответствующее место печатной платы. Печатная плата между модулями перемещается по конвейеру. Модульная система автоматов позволяет сконфигурировать линию установки SMD-компонентов для определенных задач монтажа.



Модульная линия автоматов-установщиков

7.4 Автоматы установки Panasonic NPM-W/W2

На производствах НПО СтарЛайн используются высокотехнологичные и высокоскоростные автоматы установки Panasonic серии NPM: NPM-W, NPM-W2 и NPM-WX. Данные автоматы — порталного типа с одинарным конвейером.

Автоматы-установщики Panasonic NPM-WX отличаются от NPM-W/W2 наличием дополнительных функций (проверка полярности компонентов, датчик проверки коробления платы и т. д.), а также скоростью установки — на 20% выше.

Производственная SMT-линия по установке компонентов на печатную плату состоит из комбинации нескольких модулей NPM.



Автомат установки Panasonic NPM-W2

Характеристики установщиков Panasonic NPM-W/W2:

- **Высокая производительность и точность.**

В данных машинах одновременно реализованы высокая производительность и высокая точность установки за счет легкой головы на 16 насадок, камеры с мультираспознаванием и высокопрочной рамы. Новая революционная 2D-мультикамера (с возможностью усовершенствования до 3D) обеспечивает быстрое и качественное распознавание.

- **Эксплуатационная адаптируемость.**

Можно комбинировать головы на 16 и на 12 насадок, которые подходят для установки на сверхвысокой скорости различных микрочипов; голова на восемь насадок служит для установки микрочипов и компонентов среднего размера, а голова на три насадки поддерживает установку различных компонентов нестандартной формы. Таким образом, в данных установщиках реализована возможность установки компонентов различной сложности и габаритов благодаря большому выбору захватов. Стандартная версия с одинарным конвейером совместима с платами большого размера вплоть до 750 × 550 мм.

- **Эффективная перенастройка.**

Возможна автоматическая замена поддер-

живающих пинов (опция) и автоматическая перенастройка (опция), чтобы обеспечить быструю перенастройку для производства. Автомат NPM-W2 имеет зону для установки 120 интеллектуальных питателей для 8-мм лент, может быть оснащен как фиксированной базой для питателей, так и сменными тележками для быстрой переналадки.



А знаете ли вы способ расчета точности установщика электронных компонентов?

В 2002 году в IPC (Association Connecting Electronics Industries), международной некоммерческой отраслевой организации, поняли, что промышленности нужен единый стандарт, предписывающий, как следует определять точность установщиков компонентов. С помощью этого стандарта заказчики смогли бы сравнивать машины, не спрашивая о том, как были получены данные. Стандарт получил название IPC-9850. И все больше и больше производителей установщиков поверхностно монтируемых компонентов указывают точность своего оборудования согласно этому стандарту.

Методика определения точности заключается в замерах смещения монтажа относительно заданной точки. Для корректности при вычислениях используется точная формула, которая учитывает смещение среднего значения измерений и допустимые границы этого смещения. C_{pk} — это самый часто используемый коэффициент определения возможностей технологического процесса. Этот коэффициент отображает соотношение того, что должно быть выполнено, и того, что может быть выполнено.

Проще говоря:

- Чем выше значение коэффициента C_{pk} , тем лучше процесс подходит для выполнения ваших задач.
- Значение коэффициента C_{pk} в 1,33 равняется 32 единицам отклонений на миллион в конкретном технологическом процессе. Если перенести это на установщик компонентов, то это значит, что 64 компонента из миллиона установленных будут иметь отклонения от заданных технологических параметров.
- Значение коэффициента $C_{pk} = 2$ соответствует 2 отклонениям на миллиард в технологическом процессе.

Технические характеристики установщика Panasonic NPM-W2:

Монтажная головка (фронтальная и задняя)	16 захватов	12 захватов	8 захватов	3 захвата
Заявленная скорость	77 000 комп/час	64 500 комп/час	40 000 комп/час	16 000 комп/час
Скорость по IPC-9850	59 200 комп/час	49 500 комп/час	—	—
Точность ($C_{pk} \geq 1$)	25 мкм для чипов	30 мкм для чипов	30 мкм для QFP	30 мкм для QFP
Диапазон размеров устанавливаемых компонентов	От 0,4 × 0,2 до 6 × 6 мм	От 0,4 × 0,2 до 12 × 12 мм	От 0,4 × 0,2 до 32 × 32 мм	От 0,6 × 0,3 до 150 × 25 мм
Максимальная высота компонента	3 мм	6,5 мм	12 мм	30 мм
Номенклатура устанавливаемых питателей	Питатели для лент шириной от 8 до 104 мм. Вибропитатели для подачи компонентов из пеналов. Матричные поддоны			
Максимальное количество устанавливаемых компонентов	120 питателей типоразмера 8 мм			

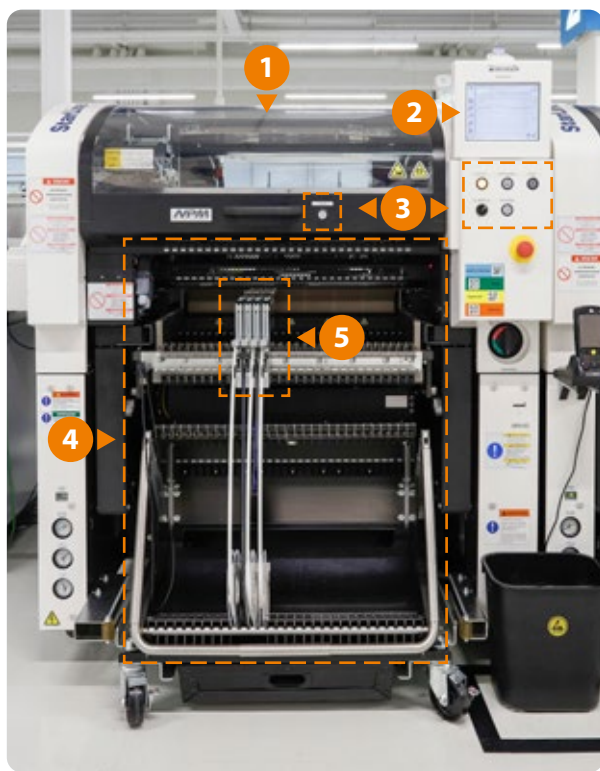
7.4.1 Основные части автомата-установщика Panasonic NPM-W2

Рассмотрим основные части автомата-установщика Panasonic NPM-W2.

У автомата-установщика есть две стороны:

1. Тыльная сторона (Rear side).
2. Лицевая сторона (Front side).

Внешние части лицевой и тыльной сторон установщика:

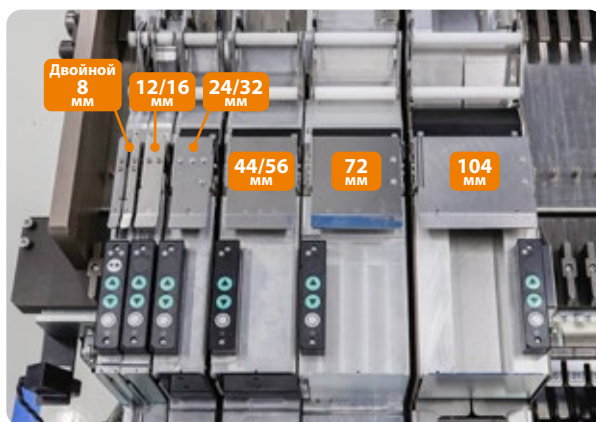


1. Защитная крышка — элемент для защиты оператора от движущихся частей автомата. При открытии крышки во время производства срабатывает датчик открытия, и установщик мгновенно останавливается.
2. Сенсорный монитор — монитор для настройки и управления процессами автомата.
3. Кнопки управления (назначения).

4. Блок подачи компонентов — съемная тележка с питателями для быстрой переналадки.
5. Питатели — устройства для подачи компонентов из упаковки для дальнейшего захвата и установки на печатную плату.

Разновидности питателей:

1. Ленточные (тип упаковки компонентов: лента в катушках).
Типоразмеры: 4, 8, 12/16, 24/32, 44/56, 72, 88, 104 мм.



Типоразмеры ленточных питателей



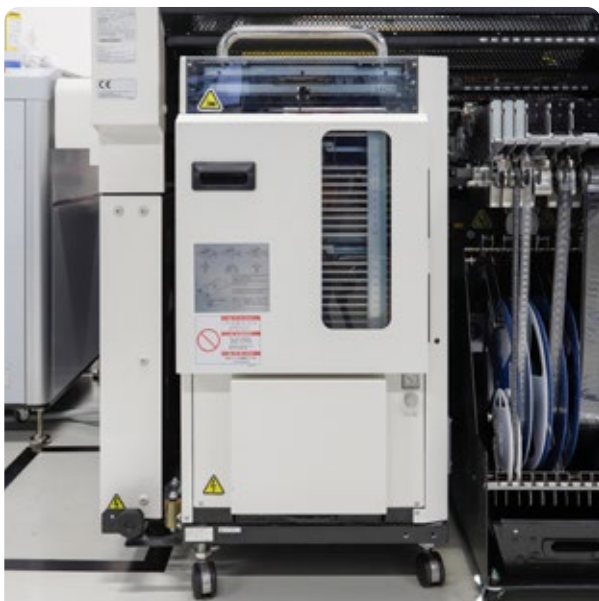
Ленточные питатели

2. Вибропитатель (тип упаковки компонентов: пеналы). Подает компоненты из пеналов с помощью вибрации.



Вибропитатель

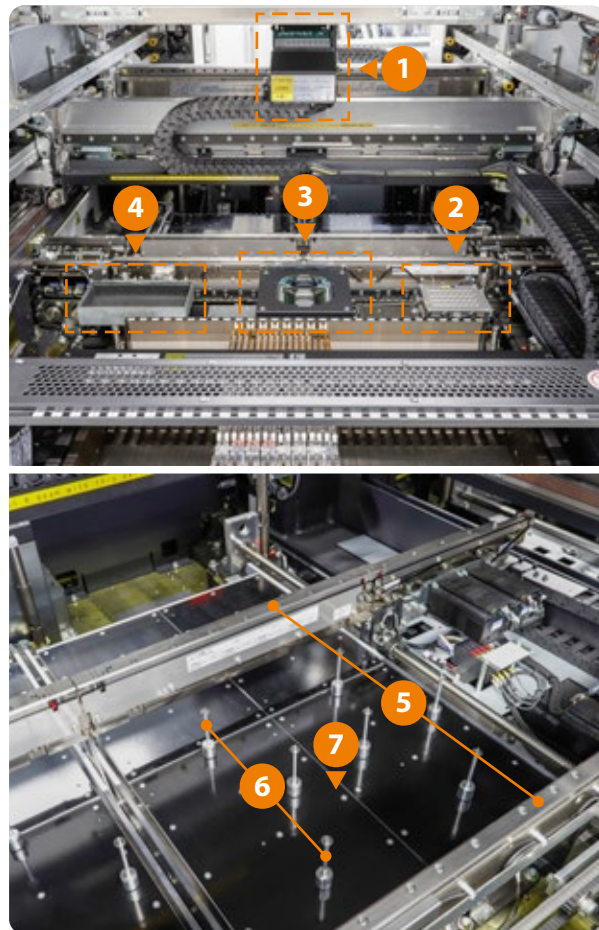
3. Одиночный лотковый питатель (тип упаковки компонентов: треи).



Одиночный лотковый питатель

7.4.2 Внутренние части автомата

Рассмотрим внутренние части автомата-установщика Panasonic NPM-W2.



Внутренние части установщика Panasonic NPM-W2

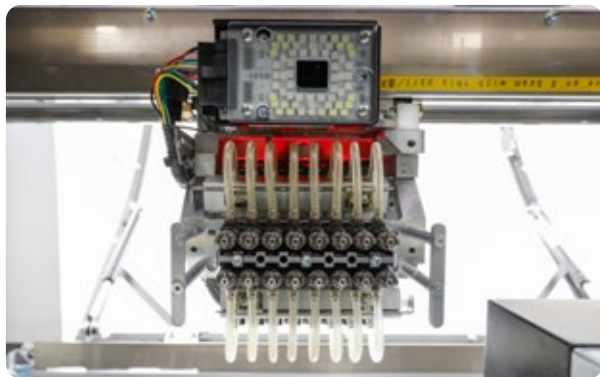
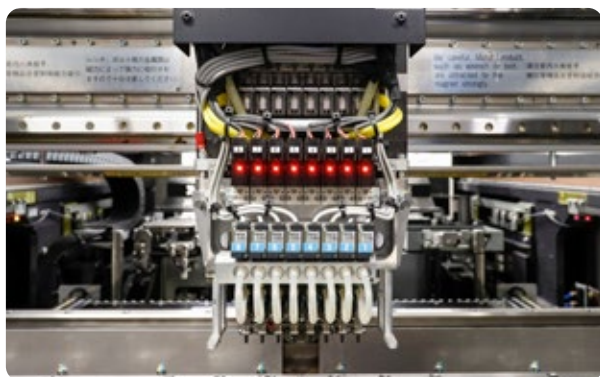
- 1 Установочная голова.
- 2 Модуль хранения нозлов (магазин).
- 3 Линейная камера распознавания.
- 4 Лоток для сброса.
- 5 Конвейер печатных плат.
- 6 Поддерживающие магнитные пины.
- 7 Подъемный поддерживающий стол.

Разберем функционал и назначение каждого элемента внутренней части автомата-установщика:

1. Установочная голова

Установочная голова — это составная часть SMT-автомата, которая содержит в себе два основных модуля:

- модуль вакуумного захвата;
- головная камера.



Установочная голова (1 — вид сбоку, 2 — вид снизу)

Модуль вакуумного захвата может состоять из 16, 12, 8, 3 держателей захватов (нозлов) в зависимости от размеров устанавливаемых компонентов. Значения давления воздуха в каждом захвате в голове отслеживаются датчиками вакуума, что позволяет установщику определить засорившийся нозл, отсутствие или потерю компонента на нозле.

Держатель захвата — это инструмент для механического крепления нозла на ось головы. Каждому держателю соответствует своя ось. Установочная голова перемещается по заданным координатам месторасположения нозлов для их взятия из модуля хранения нозлов.



Держатель захвата

Захват (нозл) — это инструмент для вакуумного взятия компонента.



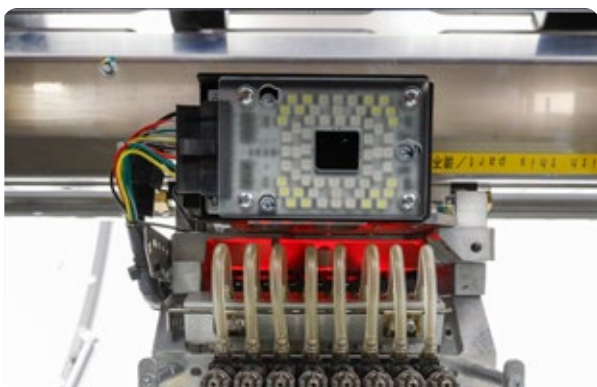
Примеры нозлов

Для автоматов-установщиков NPM существует большой выбор нозлов для возможности установки компонентов различных размеров и сложности.

Типоразмеры нозлов имеют буквенно-цифровые обозначения, например: 230CS, 240C, 240CN, где буква «С» означает, что наконечник выполнен из керамики,

«S» — small, маленький нозл (для 12/16-нозловой головы), «N» — на верхней поверхности нозла нанесен 2D-код для распознавания нозла (опция).

Головная камера — модуль с оптической камерой для определения смещения положения и ориентации печатной платы с помощью реперных знаков на плате, для считывания 2D-кода на платах, для автоматической настройки позиции взятия компонента из питателя и т. д..



Головная камера

2. Модуль хранения захватов (магазин)

Модуль хранения захватов — это инструмент, состоящий из ячеек, в которые оператор вручную устанавливает нозлы перед началом сборки конкретного изделия.

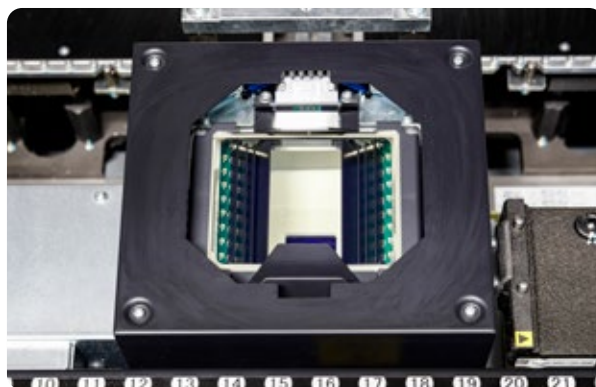


Модуль хранения нозлов

Расстановка нозлов по ячейкам модуля хранения выполняется оператором в соответствии с рекомендацией управляющей программы SMT-автомата (для сборки конкретного изделия).

3. Линейная камера распознавания

Линейная камера распознавания — оптическая видеосистема распознавания компонентов на нозле, распознавание состояния нозлов, установленных на голове.



Линейная камера распознавания

После взятия компонента установочная голова перемещается к линейной камере для распознавания компонента с целью корректировки положения и отклонения угла поворота.

4. Лоток для сброса

Компонент перемещается в лоток для сброса, если он не прошел распознавание (ошибка распознавания) либо если при взятии компонента была выявлена ошибка в показаниях датчика вакуума на оси нозла (компонент ненадежно захвачен).

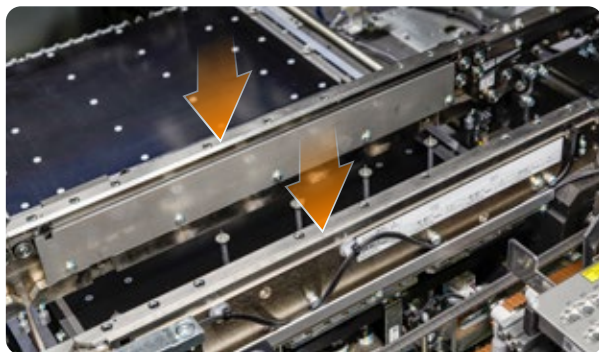
Лоток для сброса компонентов является съемной деталью. При применении лоткового питателя используется специальная палета для сброса компонентов.



Лоток для сброса

5. Конвейер печатных плат

Конвейер необходим для автоматической загрузки, выгрузки и фиксации печатных плат в процессе сборки изделия. Транспортировку платы обеспечивают ремни конвейера. Датчики обнаружения платы определяют местонахождение заготовки на конвейере и фиксируют ее в определенном месте для сборки.



Конвейер печатных плат

6. Поддерживающие магнитные пины

Пины поддерживают зафиксированную на конвейере плату для исключения ее прогиба при установке компонентов. На производствах НПО СтарЛайн автоматы-установщики оснащены функцией автоматической расстановки поддерживающих пинов согласно управляющей программе (УП). Автоматическая расстановка осуществляется установочной головкой со специаль-

ным нозлом для поддерживающих пинов. Пин представляет собой металлический штифт с магнитным основанием, который при установке на поддерживающий стол примагничивается.



Поддерживающий магнитный пин

7. Подъемный поддерживающий стол

Подъемный поддерживающий стол служит поверхностью для установки поддерживающих пинов. При транспортировке платы по конвейеру поддерживающий стол находится в нижнем положении, при старте процесса установки компонентов стол поднимается, исключая прогиб монтируемой платы. Для обеспечения работы функции автоматической замены поддерживающих пинов поверхность стола покрыта магнитным покрытием.



Подъемный поддерживающий стол

7.5 Автоматизированная система управления производством

Линия SMT-монтажа на производствах НПО СтарЛайн состоит из нескольких модулей автомат-установщиков (NPM1, NPM2, NPM3, NPM4 и т. д.), управляемых автоматизированными системами, которые позволяют создавать, редактировать, собирать и анализировать данные для производства.

7.5.1 DGS (Data Generation System)

Система DGS (Data Generation System) представляет собой программное обеспечение, которое в результате обработки входящих данных об изделии (печатная плата, компоненты, оснащение автомат-установщиков: питатели, нозлы) предлагает наиболее оптимальный алгоритм сборки данного изделия.

В системе DGS:

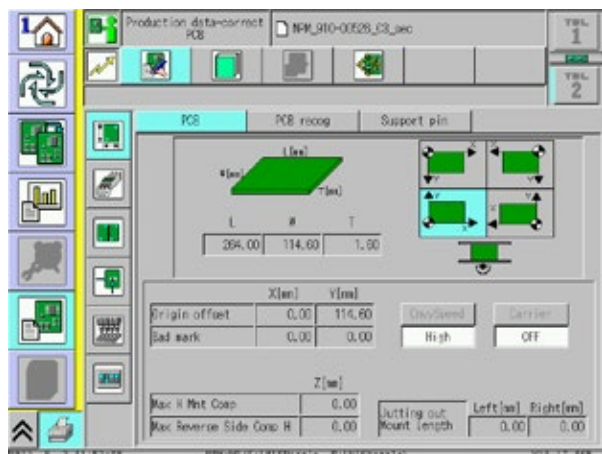
- создается и редактируется управляющая программа для монтажа компонентов на печатную плату;
- ведется библиотека виртуальных компонентов (с описанием, характеристиками, параметрами настройки);
- проводится инвентаризация расходных инструментов, доступных для использования: нозлы, питатели.

Меню DGS состоит из основных разделов:

- **Factory Manager** — позволяет настроить конфигурацию заводской линии, конфигурацию модуля и конфигурацию машины (включая нозлы и питатели) в виртуальной среде.
- **General Settings** — в этом разделе указываются папки, в которые будут сохранены файлы созданных управляющих программ.
- **Product Manager** — создание продукта: печатной платы с компонентами.
- **Part Manager** — создание библиотеки компонентов.
- **Project Manager** — создание управляющей программы для установщика и генерация рецепта на линию. Позволяет провести оптимизацию программы, используя библиотеки нозлов, питателей для создания конечной программы сборки изделия.
- **PPD Manager** (Produce Proven Data) — приложение DGS, в котором можно управлять уже созданной управляющей программой, редактировать и оптимизировать ее независимо от Project Manager. PPD Manager создает локальную копию программы на LNB-компьютере (Line Network Box, см. ниже) из общей библиотеки Project Manager, позволяет вносить корректировки в программу в ходе производства.
- **Security Manager** — создание рабочих аккаунтов, управление доступом и полномочиями аккаунтов.

7.5.2 Меню сенсорного монитора NPM

Меню сенсорного монитора — это интерфейс встроенного программного обеспечения в автоматы-установщики для управления данными и настройками монтажа в загруженной управляющей программе из системы DGS.



Меню сенсорного монитора

С помощью меню сенсорного монитора NPM можно осуществлять следующие операции:

1. Вносить изменения в управляющую программу (настройки взятия, распознавания, данных компонентов и плат и т. д.).
2. Отслеживать качество процесса монтажа (ошибки взятия, распознавания и установки, предупреждения об окончании запаса компонента, производительность машин и т. д.).
3. Отслеживать состояние автоматов-установщиков.

7.5.3 LNB (Line Network Box)

LNB (Line Network Box) представляет собой систему, которая обеспечивает связь производственного оборудования (модулей NPM) и программного обеспечения PanaCIM, DGS.

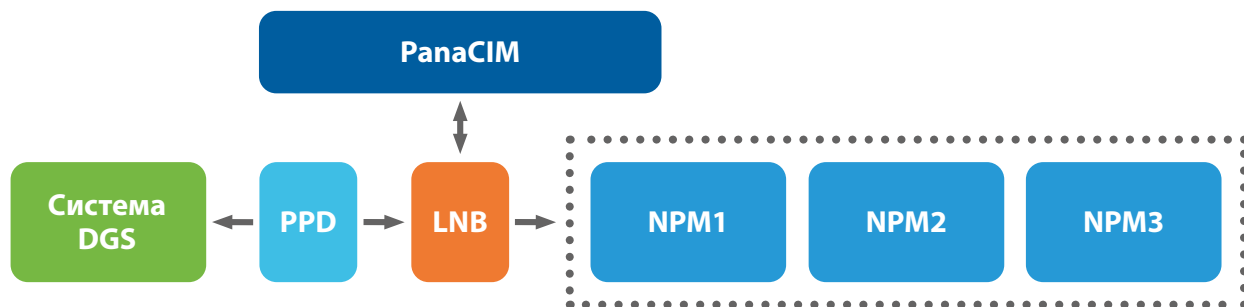
LNB объединяет производственное оборудование в производственную линию, тем самым обеспечивая централизованное управление информацией, загрузку управляющих программ (рецептов) и сбор информации управления производством.

Основные функции LNB:

- Загрузка управляющих программ (рецептов) в оборудование.
- Хранение данных о производстве.
- Хранение информации об управлении производством.
- Хранение информации о произошедших событиях с производственным оборудованием.

7.5.4 PanaCIM Manufacturing Execution System

PanaCIM представляет собой автоматизированную систему управления производством для организации и мониторинга производственных процессов, таких как подготовка комплектации, контроль качества сборки, подготовка производства, отслеживание материалов и компонентов и т. д.



Структура связи систем управления

Основные задачи системы PanaCIM

Название	Функционал	Цель
Верификация материалов (Material Verification)	Проверка загружаемых электронных компонентов на соответствие реестру компонентов в управляющей программе автомата-установщика	Исключить установку неверного компонента (без прохождения верификации недоступен запуск SMT-линии)
Контроль материалов (Material Control Base)	Контроль движения материалов и компонентов, а также их учет с помощью регистрации при считывании штрихкода на упаковке компонентов и штрихкода зоны, куда мы перемещаем компонент (check-in)	- Предупредить оператора о достижении минимального количества компонентов в питателе (согласно заданному порогу). - Обеспечить быстрый поиск материалов и компонентов по их идентификационному ID-номеру
Контроль материалов. Опция контроля MSD-материалов. (Material Control MSD)	Автоматически отслеживает и контролирует «время жизни» компонентов, чувствительных к влажности	Исключить установку MSD-компонента с истекшим временем Floor life (безопасный интервал времени между извлечением электронного компонента из защитного пакета и пайкой)
Контроль материалов. Опция «Резервирование материалов» (Material Control Allocation)	Резервирование комплектующих на складе, необходимых для выполнения конкретного производственного заказа	Исключить применение зарезервированных компонентов для одного изделия при сборке другого изделия
Анализ производства и производительности (Production Analysis)	Модуль используется для создания диаграмм и отчетов по производительности для анализа производительности линий, маршрутов и отдельных единиц оборудования	Выполнить имитацию процесса сборки изделия для оценки производительности
Прослеживание производства (Traceability)	Осуществление контроля качества выпускаемой продукции благодаря отслеживанию используемых компонентов для производства печатных плат и маршрутов производства печатных плат: - сбор информации и данных о производстве печатных плат, с помощью использования считывателей штрихкода; - интеграция с модулем Material Verification для прослеживания компонентов, использованных для производства печатных плат; - хранение информации о процессе производства печатной платы	Обеспечить прослеживаемость процесса сборки изделия
Техническое обслуживание (Maintenance)	Собирает информацию о местоположении питателей на производстве, информацию о необходимом (запланированном и вынужденном) техобслуживании питателей; заносит в базу данных системы PanaCIM сведения о проведенном ремонте питателей	Организовать работы по техническому обслуживанию автоматов-установщиков

7.6 Создание компонентов в управляющей программе

Создание управляющей программы (рецепта) для автоматов-установщиков происходит в программе DGS. Остановимся на одном из этапов написания управляющей программы — создании компонентов.

Все созданные компоненты хранятся в библиотеке Part Manager в DGS.

В библиотеке компоненту присваивается название, по которому в управляющей программе можно его идентифицировать. На производствах НПО СтарЛайн названием компонента является его SAP-номер, присвоенный системой SAP на складе.

Для систематизации компонентной базы и для удобства поиска при создании компоненту присваиваются:

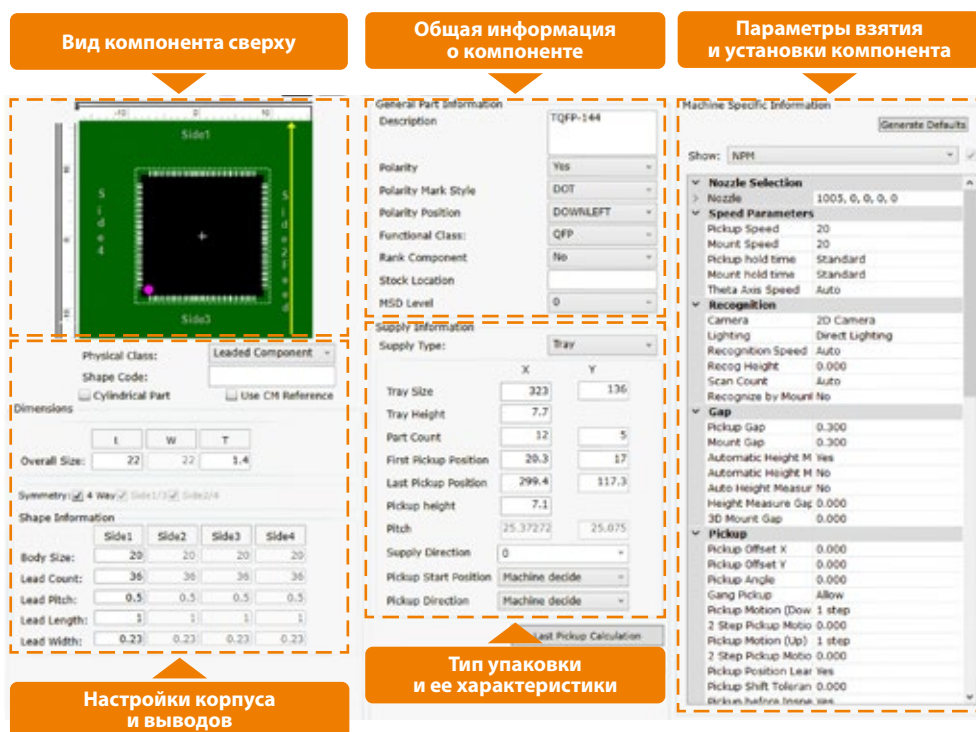
- функциональный класс (Functional class): резистор, конденсатор, транзистор, диод, различные семейства корпусов микросхем и т. д.;
- физический класс (Physical class): прямоугольная форма (чип), выводной компонент (lead component), произвольная форма (odd shaped component), массив шариков (ball grid array (BGA));
- габариты корпуса компонента (L×W×H): длина, ширина, высота (толщина).

Данные для добавления компонента берутся из конструкторской документации (спецификации) и спецификации компонента (Datasheet).

После создания компонента в библиотеке доступно окно настроек данного компонента для внесения следующих данных:

- Общие размеры компонента (Overall Size, Body Size, L×W×T).
- Ширина и длина контактов компонента (для чипов) (Lead Width, Lead Length) и/или количество выводов (Lead Count) с каждой из сторон компонентов, шаг выводов (Lead Pitch), длина и ширина выводов (для выводных компонентов) (Lead Width, Lead Length).
- Описание (Description) — название корпуса.
- Наличие полярности (Polarity).
- Тип полярности (Polarity Mark Style).
- Расположение полярности (Polarity Position).
- Тип упаковки (Supply Type).
- Материал ленты (Type Kind).
- Ширина ленты (Tape Width).
- Шаг ленты (Tape Pitch).
- Перечень подходящих нозлов (Nozzle Selection).
- Настройки параметров взятия и установки компонента (Machine Specific Information).

Далее рассмотрим окно настроек компонента в программе DGS.



Рассмотрим два важных типа параметров.

1. Параметры захвата компонента:

- Gap pickup (прижим при взятии) — расстояние, на которое нозл углубляется в ячейку компонента для его захвата. Значение прижима генерируется программой после выбора типа корпуса и внесения габаритных размеров компонента. Отладка данного параметра происходит при запуске процесса сборки;
- Pickup speed (скорость захвата) — скорость, с которой нозл опускается к компоненту в ячейке. Скорость захвата является стандартной величиной, уменьшается в случае захвата компонента сложной формы;
- Pickup hold time (время задержки при взятии) — время, в течение которого нозл остается опущенным для захвата. Является стандартной величиной, настраивается для возможности стабилизации компонента в ячейке.

2. Параметры установки компонента:

- Gap mount (дожим при установке) — прижим компонента при его установке на отпечаток паяльной пасты. Регулирует расстояние (глубину), на которую компонент опустится в отпечаток пасты;



Производитель (Panasonic) рекомендует использовать значение Gap mount, равное 0,3 мм, для всех устанавливаемых компонентов.

- Mount Speed (скорость установки) — скорость, с которой нозл с компонентом опускается на отпечаток паяльной пасты;
- Mount hold time (время задержки при установке компонента) — время, в течение которого нозл держит компонент на отпечатке паяльной пасты.

Подбор нозлов для компонентов осуществляется согласно спецификации производителя.

7.7 Подготовка SMT-линии к старту сборки изделия

На первом этапе проводится итоговая проверка управляющей программы на соответствие конструкторской документации и фактической комплектации.

Проверка выполняется в две стадии:

1. Проверка управляющей программы (УП) на соответствие конструкторской документации (КД) до выдачи комплектации.
2. Проверка УП на соответствие фактической комплектации (после выдачи комплектации).

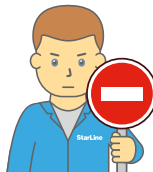
Основной задачей первой стадии является проверка соответствия перечня компонентов в программе перечню компонентов в конструкторской документации (соответствие SAP-номеров компонентов и их количество). Также проверяется расположение компонентов на контактных площадках платы, соответствие корпусов компонентов контактными площадкам.

Основными задачами второй стадии являются:

1. Сверка характеристик выданных компонентов для сборки с характеристиками в библиотеке компонентов.
2. Проверка расположения и полярности компонентов на плате.
3. Оптимизация управляющей программы.

Основными параметрами для проверки компонента являются:

1. Упаковка компонента:
 - Ширина, шаг, тип ленты.
 - Габариты стика.
 - Размер трея, количество ячеек по осям X, Y, стартовая и конечная позиции взятия.
2. Полярность в упаковке.
3. Выбор подходящего нозла.
4. Соответствие складской этикетки заводской.
5. Соответствие компонента в упаковке по типу корпуса, функциональному классу заводскому наименованию.
6. Соответствие характеристик компонентов-замен.



Несоответствие данных на компонент в управляющей программе с фактическими параметрами компонента может привести:

1. К потере компонентов из лент-упаковки в процессе работы автомата-установщика, что может вызвать технологические потери, превышающие минимальный допустимый порог, если в характеристиках компонента неверно указаны тип и/или ширина ленты.

2. К установке компонента неверной полярностью, так как полярность компонента на виртуальной плате автоматически изменяется при ее корректировке в библиотеке компонентов.
3. К установке компонента-замены неверной полярности, если для основного компонента была выдана замена с иной полярностью в упаковке.

На производстве НПО СтарЛайн утвержденный уровень технологических потерь составляет:

1. Активные компоненты (≥ 2512 , SOT-23) не более 1%.
2. Пассивные компоненты (≤ 2512 , SOT-23) не более 2%.
3. Высокотехнологичные компоненты (модули, микросхемы) не более 0,1%.

Вторым этапом подготовки является настройка автоматов-установщиков.

Настройка линии автоматов-установщиков состоит из следующих операций:

1. Загрузка управляющей программы.
2. Зарядка питателей.
3. Верификация компонентов в питателе.
4. Расстановка нозлов в модуль хранения нозлов (магазин).
5. Настройка позиций взятия компонентов.
6. Расстановка поддерживающих пинов.
7. Проверка/настройка координат установки компонентов.
8. Проверка/настройка распознавания компонентов.

7.7.1 Загрузка управляющей программы

При создании управляющей программы, после симуляции и оптимизации процесса монтажа необходимо загрузить готовый рецепт (Generate recipe — сгенерировать рецепт) в PPD.

После генерации управляющая программа появляется в списке программ PPD и в меню загрузки программ на автоматах-установщиках.

Загрузку программы можно сделать как на отдельном модуле линии автоматов-установщиков (machine), так и на всю линию.

7.7.2 Зарядка питателей

После проведения оптимизации управляющей программы оператору необходимо зарядить соответствующие компоненты в питатели и поместить заряженные питатели в предусмотренный программой стол и слот стола.

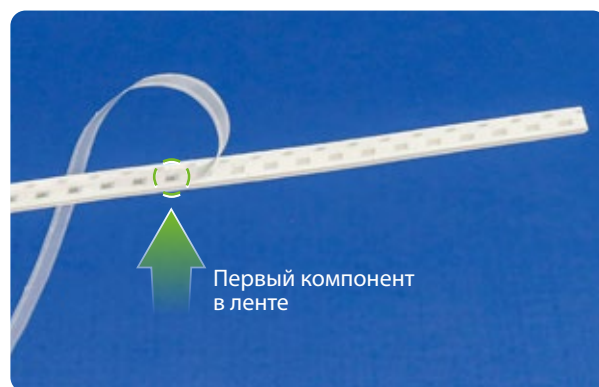
Расположение компонентов по столам установщиков доступно в DGS и в меню сенсорного монитора.

7.7.2.1 Зарядка катушек в ленточный питатель

После распределения питателей по столам сборки происходит зарядка компонента в питатели.

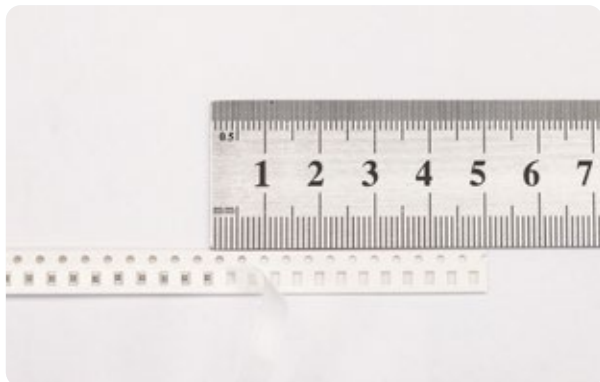
Процесс зарядки ленточных питателей состоит из следующих действий:

1. Отделить покрывную ленту от основной до первой ячейки с компонентом.



Отделение покрывной ленты

- Оставить длину загрузочного конца основной ленты около 5 см.



Длина загрузочного конца основной ленты

- Оставить длину загрузочного конца покровной ленты около 30 см.



Длина загрузочного конца покровной ленты

- Установить катушку на позицию в соответствии с указаниями на экране установщика.



Установка катушки на позицию

- Установить питатель в ячейку стола установщика, не доводя его до разъема подключения.

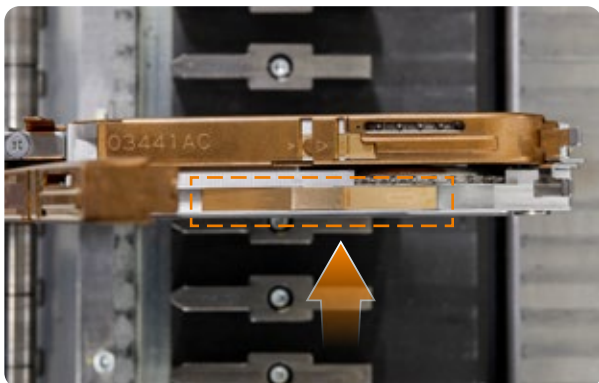


Установка питателя

- Открыть крышку прижатия ленты и определить необходимость наличия выравнивающего поддерживающего магнита. Магнит необходимо устанавливать в двойные 8-мм питатели для поддержки ленты в питателе (устранение прогиба ленты) и для выравнивания чипов в ячейках при движении ленты (благодаря магнитному притяжению). Для лент с глубиной ячеек до 1,2 мм наличие магнита необходимо для исключения прогиба ленты в питателе.

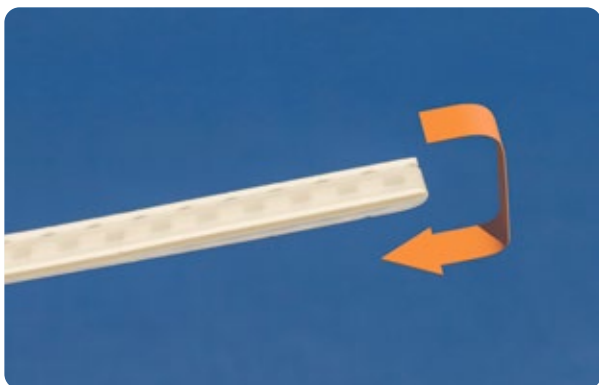


Открытие крышки прижатия ленты



Выравнивающий поддерживающий магнит

7. Зафиксировать покрывную ленту за основную и продеть в отверстие питателя для подачи ленты до момента выхода ленты в зоне захвата.



Фиксация покрывной ленты



Вывод ленты в зону захвата

8. Провести ленты под датчиком и зажимной крышкой питателя, затем аккуратно провести край покрывной ленты через отверстие в крышке питателя.



Основная лента под зажимной крышкой



Покрывная лента в отверстии в крышке питателя

9. Зафиксировать край загрузочной ленты, установив перфорацию ленты на зубчики подающего колеса, и закрыть зажимную крышку. Проверить правильность установки через смотровое отверстие крышки: перфорация ленты должна остаться на зубчиках колеса.



Фиксация основной ленты

10. Далее необходимо настроить позицию захвата.

Для этого необходимо подключить питатель к питанию и с помощью кнопок управления установить центр первой пустой ячейки (без компонента) на риску питателя.



Кнопки управления питателя

Кнопки выбора стороны питателя и световая индикация стороны

Кнопки установки шага ленты в питателе

Кнопка подтверждения верификации компонента



Риска находится напротив центра ячейки

Настройка позиции захвата

11. Заправить покрывную ленту в отсек для сбора покрывной ленты.



Отсек для сбора покрывной ленты

12. Отсоединить отдельное питание, зажать рычаг на питателе и довести питатель до конца стола, отпустить рычаг.



Фиксация питателя в блоке подачи компонентов

7.7.2.2 Установка треев в лотковый питатель

Расположение треев находится в меню программы на мониторе.

Для установки треев необходимо открыть крышку лоткового питателя для извлечения палет. На производствах НПО СтарЛайн, лотковый питатель состоит из 20 палет, разделенных по 10 штук на два магазина.



Палеты в лотковом питателе

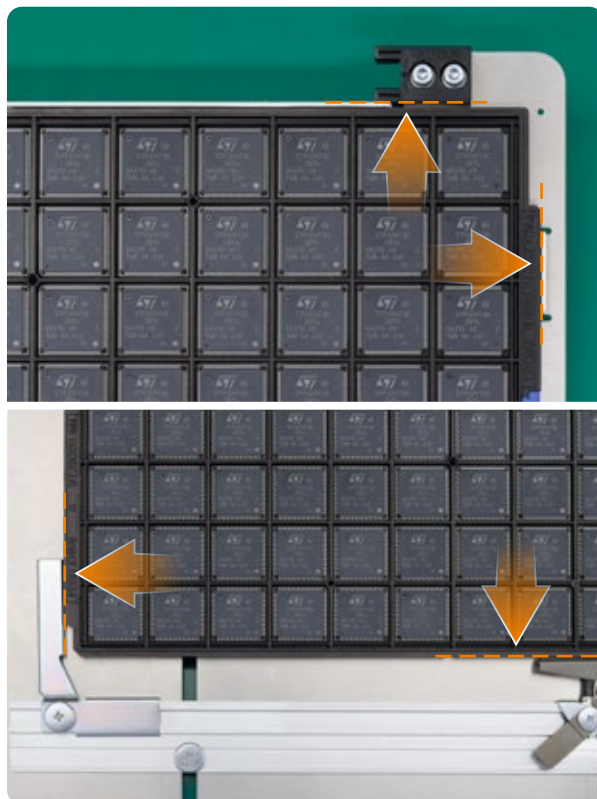
Порядок действий при зарядке треев:

1. Подготовить трей к установке: проверить, чтобы ориентация (полярность) всех компонентов в трее была одинаковая, чтобы компоненты находились в ячейках ровно и без перекосов.



Расположение компонентов в треех

2. Извлечь соответствующую палету из магазина.
3. Поместить трей с компонентами на палету до упора в правый верхний угол. После установки треев зафиксировать его ограничителями, затянув винты крепления.



Позиционирование треев в палете

4. Поместить палету с треем в магазин в соответствующий слой. Закрепить зажим палет, а затем закрыть крышку.

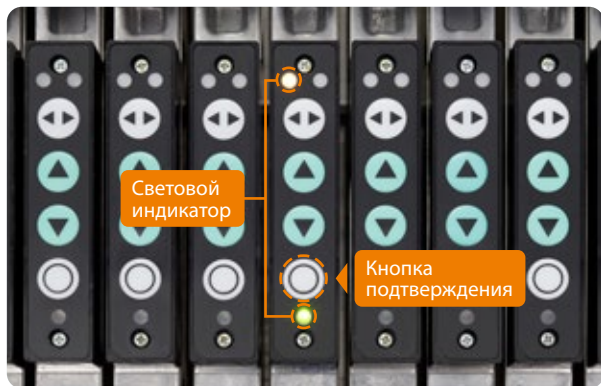
7.7.3 Верификация компонентов в питателях

После зарядки компонентов и установки питателей согласно управляющей программе, необходимо провести верификацию компонентов, заряженных в питатели.

Система PanaCIM с помощью модуля Material Verification (проверка материалов и компонентов) проверяет соответствие заряженных компонентов и гарантирует, что на печатную плату устанавливаются только правильные компоненты (в соответствии с управляющей программой автомата-установщика).

С помощью мобильного сканера, установленного на линии, оператор сканирует заряженный компонент, после чего данные, полученные сканером (SAP-номер компонента, ID компонента, количество), передаются в систему PanaCIM и на установщики. На автоматах-установщиках в питателе с соответствующим SAP-номером (просканированным) загорается световой индикатор.

Оператору необходимо проверить, что питатель с горящим индикатором и просканированный компонент находятся на одном и том же адресе, и подтвердить верификацию с помощью кнопки подтверждения.



Световая индикация питателя

Если заряженный в питатель компонент соответствует управляющей программе, то после нажатия кнопки подтверждения данные о компоненте записываются в память питателя.

Если компонент, заряженный в питатель, оказался неверным, система выдает ошибку верификации. Необходимо проверить правильность зарядки питателя.

7.7.4 Расстановка нозлов в модуль хранения нозлов (магазин)

В управляющей программе система DGS распределила нозлы по столам автоматов-установщиков. Оператору необходимо расставить идентичный набор нозлов в модуль хранения нозлов в автомате-установщике.



Установка нозлов в магазин согласно управляющей программе

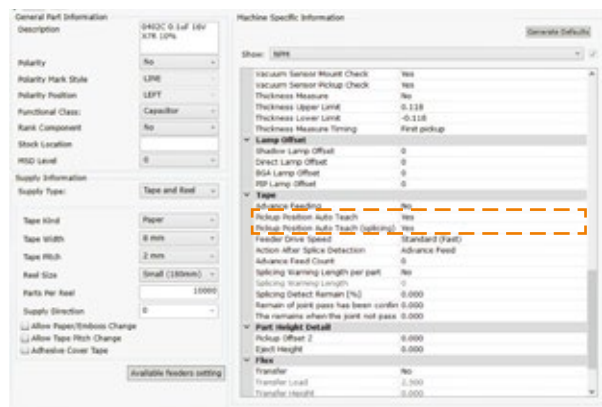
7.7.5 Настройка позиций взятия компонентов

Настройка позиций взятия компонентов необходима для минимизации потерь компонентов и качественного монтажа.

Рассмотрим настройку позиций взятия компонентов в ленточных питателях.

Функция автоматической настройки взятия по контуру ячейки (Pickup position auto teach) и настройка взятия после проведения сплайсинга (Pickup position auto teach (splicing)) заключается в том, что установщик с помощью головной камеры распознаёт и определяет ячейку на позиции взятия компонента и автоматически вычисляет ее центр.

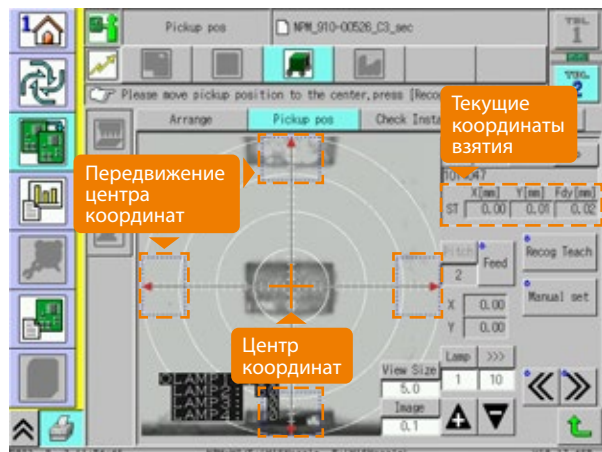
Включение/отключение функции происходит в библиотеке компонентов DGS или на автоматах-установщиках.



Функция автоматической настройки взятия по контуру ячейки в программе DGS

Настройка позиции взятия по каждому компоненту также выполняется на автоматах-установщиках:

1. В автоматическом режиме с помощью распознавания ячейки.
2. Установка позиции взятия в ручном режиме, когда выставляется центр координат в центре ячейки. Ручной режим используется в случаях, когда автомат-установщик не может выполнить автоматическое распознавание или компонент нестандартной формы.



Установка позиции взятия в ручном режиме

7.7.6 Расстановка поддерживающих пинов

Виртуальная расстановка поддерживающих пинов происходит на этапе создания управляющей программы.

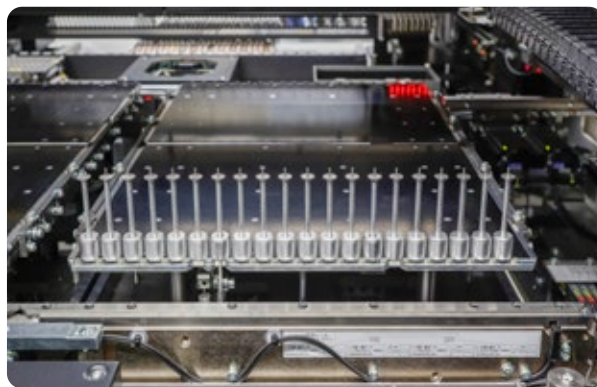
Положение поддерживающих пинов и их количество выбираются, исходя из размеров единичной платы, конструкции мультизаготовки, наличия компонентов на оборотной стороне.

Расстановка пинов для сборки первой стороны печатной платы (Primary) должна обеспечить равномерную поддержку, исключаящую ее прогиб.

При расстановке пинов для сборки второй по очередности стороны платы (Secondary) необходимо расставлять пины в точки, свободные от установленных компонентов.

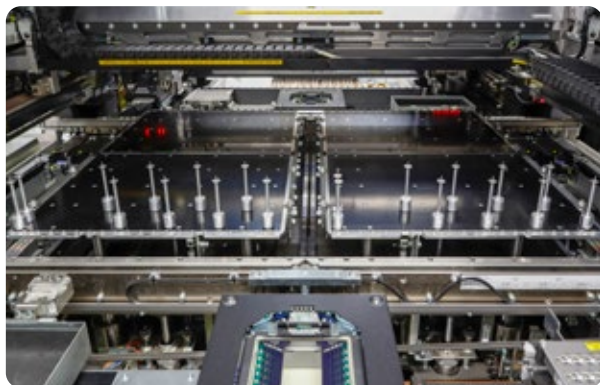
При старте процесса производства автоматы-установщики автоматически расставляют поддерживающие пины на столы сборки согласно управляющей программе.

Поддерживающие пины до начала производственного процесса находятся в положении «Дом», то есть все пины выставлены на нижний край стола установки.



Поддерживающие пины в позиции «Дом»

После запуска функции установки пинов, установочная голова начнет расставлять поддерживающие пины на столы сборки.



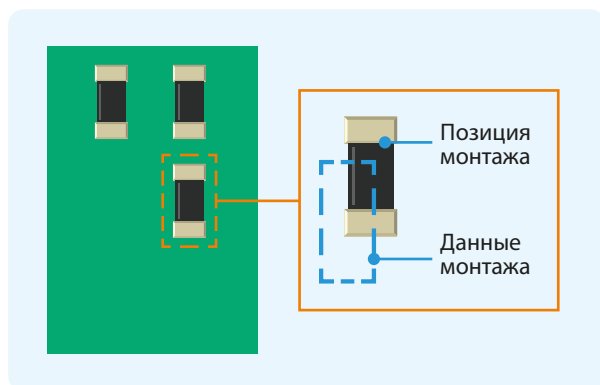
Пины установлены согласно управляющей программе

7.7.7 Проверка/настройка координат установки компонентов

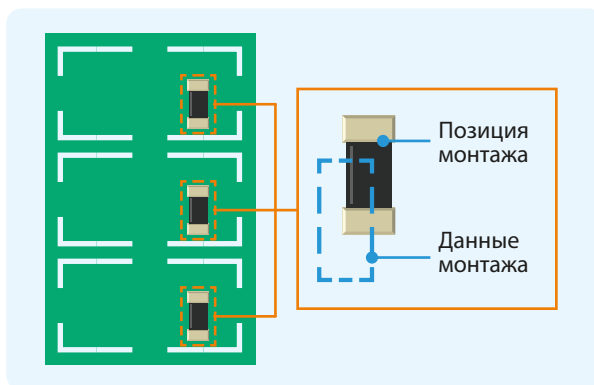
Для проверки и настройки точности установки компонента (особенно в случаях с BGA и штыревыми разъемами) необходимо выполнить корректировку координат монтажа компонентов.

Существует несколько режимов корректировки координат установки компонентов:

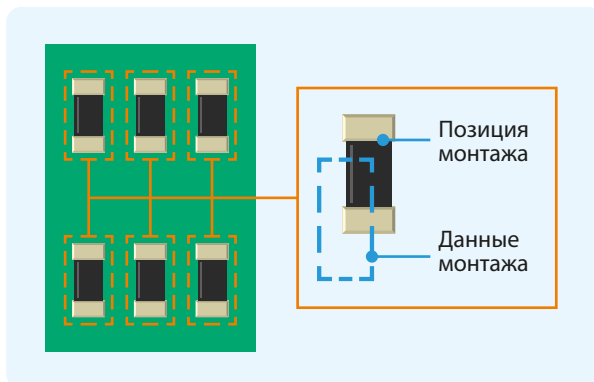
1. **Mount** (Монтаж) — корректировка смещения определенного компонента.



2. **Mount/Pattern** (Монтаж/Паттерн) — корректировка смещения одного и того же компонента на мультизаготовке.

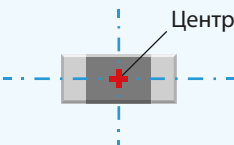
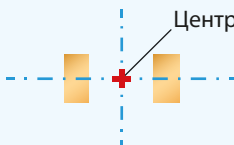
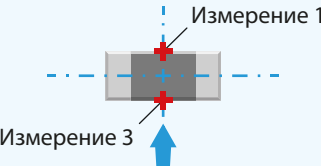
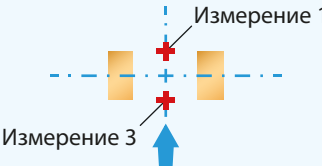
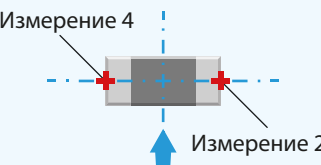
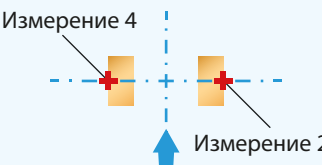
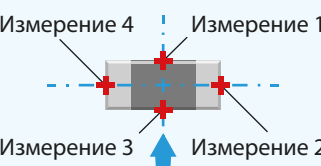
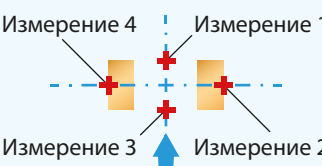


3. **Origin offset** (Смещение начального положения) — корректировка смещения компонентов в случае, когда все компоненты смещены на одно и то же значение.



При настройке координат установки выбирается точка установки и соответствующий ей компонент. Далее происходит выбор позиции на компоненте, по которой в дальнейшем будет сделано совмещение с соответствующей позицией на плате.

Способы совмещения компонента и контактной площадки

Метод измерения	Кнопка	Компонент	Контактная площадка на печатной плате
По одной точке	Cen		
По двум точкам	Measure1 Measure3		
	Measure2 Measure4		
По четырем точкам	Measure1 Measure2 Measure3 Measure4		

 — направление движения ленты с компонентами в питателе

7.7.8 Настройка распознавания компонентов

Распознавание происходит путем получения изображения нижней части компонента 2D-камерой с несколькими зонами освещения.

Установщики серии NPM оснащены следующими тремя режимами освещения для получения изображений компонентов:

1. **Direct (прямое освещение).**
2. **Shadow (тенивое освещение).**
3. **Side (боковое освещение).**

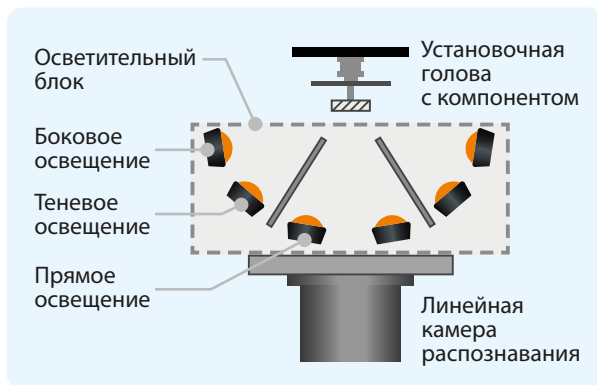


Схема зон освещения камеры

Для получения качественного изображения у автоматов-установщиков есть функция изменения значений мощности для каждого типа подсветки.

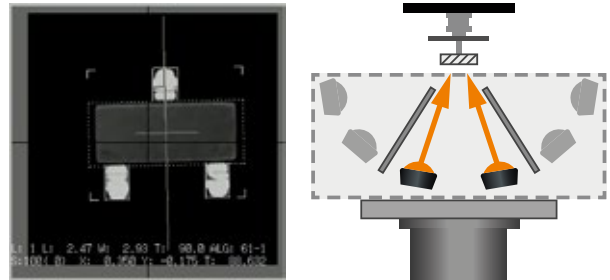
Назначение каждого режима освещения:

1. **Direct (прямое освещение).**

Прямое освещение излучает свет на всю нижнюю часть компонента для освещения выводов компонента. Этот режим используется для определения выводов компонентов, которые расположены по сторонам корпуса.

При настройке необходимо отрегулировать значение мощности (интенсивности) так, чтобы контраст выводов и корпуса был максимальным.

В этой подсветке выводы выглядят белыми, а фон — черным.

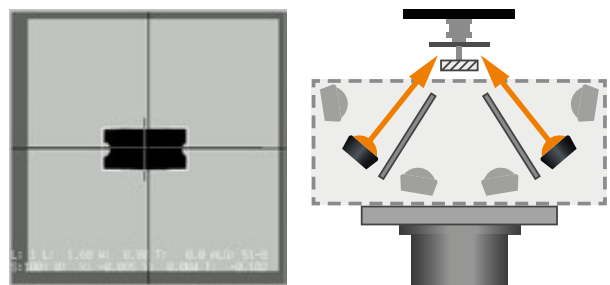


Подсветка Direct

2. **Shadow (тенивое освещение).**

Тенивое освещение излучает свет на отражатель на заднем плане компонента для освещения фона. Подсвечивается фон компонента для создания силуэтного изображения. Этот режим используется, когда выводы компонента не контрастируют с корпусом или форма корпуса компонента соответствует его контуру, например как у чипов.

В этой подсветке изображение компонента получается в виде черного силуэта, а фон выглядит белым.



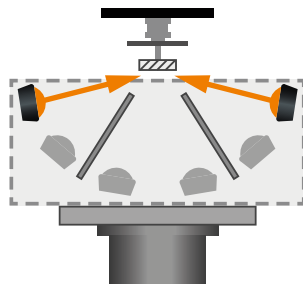
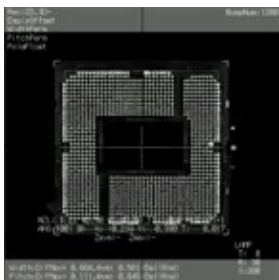
Подсветка Shadow

3. **Side (боковое освещение).**

Подсвечивает боковые грани компонента для создания более четкого изображения контура изогнутых, шаровидных выводов (BGA, компоненты с J-образными выводами).

Боковое освещение (Side) излучает свет с боков выводов для освещения контуров выводов.

В этой подсветке изогнутые выводы компонента выглядят белыми, а плоская поверхность в основном выглядит черной.



Подсветка Side

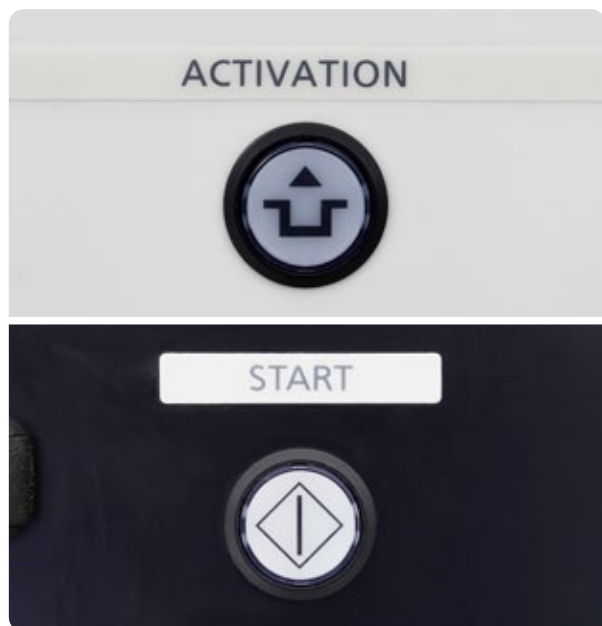
7.8 Производство

7.8.1 Запуск режима производства

Перед запуском режима производства необходимо убедиться в том, что Work Order (рабочий заказ), созданный системой PanaCIM для сбора информации по использованию компонентов, существует и активен.

Состояние Work Order можно оценить в системе PanaCIM в модуле Production Monitoring & Dispatch (Мониторинг и диспетчеризация производства).

Старт производства осуществляется одновременным нажатием кнопок на оборудовании:



При запуске происходит:

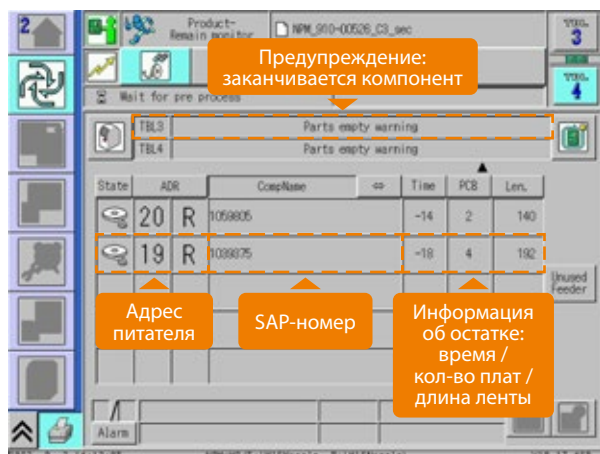
1. Инициализация всех узлов автомата-установщика.
2. Автоматическая настройка ширины конвейера.
3. Автоматическая расстановка поддерживающих пинов.
4. Установка нозлов на оси установочной головы.
5. Проверка верификации.
6. Проверка состояния датчиков.
7. Проверка данных производства.

7.8.2 Режим производства

После успешной проверки автомат-установщик читает сигнал с оборудования об имеющейся плате, считывает QR-код и принимает ее на свой конвейер. Начинается процесс монтажа компонентов.

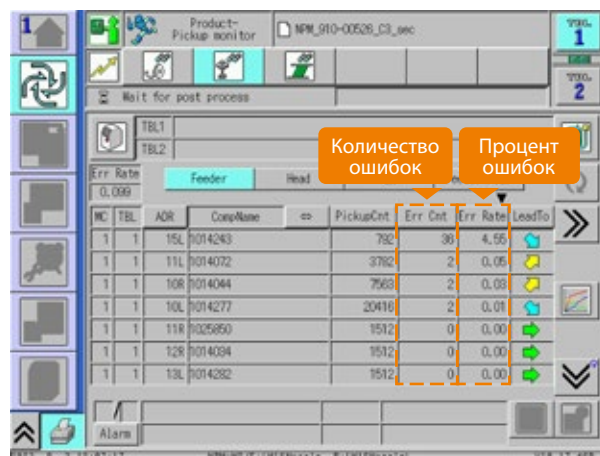
Меню режима производства состоит из трех вкладок:

1. Remain monitor (Мониторинг остатков) — проверяет информацию по остаткам компонентов на каждом столе линии. Предупреждает о приближении катушки к концу, что дает возможность оператору заранее подготовить новую катушку/питатель или провести сплайсинг (сращивание катушек).

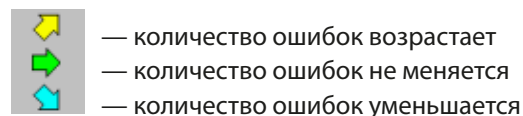


Remain monitor (Мониторинг остатков)

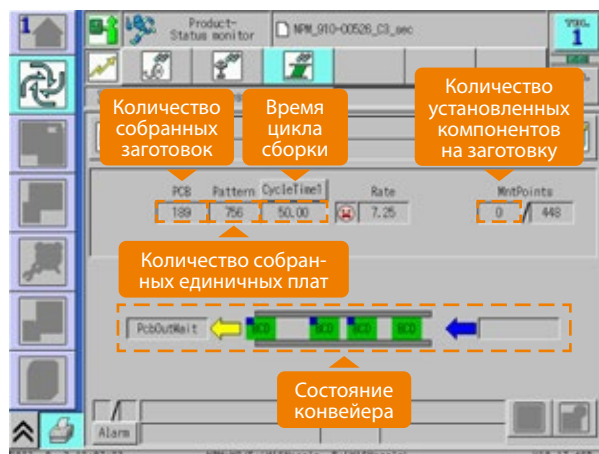
2. Pickup monitor (Мониторинг взятия компонентов) — отслеживание количества ошибок взятия, распознавания и установки компонентов.



Pickup monitor (Мониторинг взятия компонентов)



3. Status monitor (Просмотр статуса) — отображает информацию о производстве во время работы, о количестве собранных изделий, установленных компонентов, о наличии плат на конвейере.



Status monitor (Просмотр статуса)

7.8.3 Замена катушек с компонентами

Если в процессе монтажа закончился компонент в ленточном или лотковом питателе, то на экране монитора отобразится информация.

Необходимо подобрать новую катушку или трей данного компонента из выданной комплектации для сборки.



Если основной компонент закончился и необходимо зарядить аналог, нужно обязательно проверить основные параметры компонента в упаковке.

При зарядке катушки необходимо проверить полярность, шаг компонента, габаритные размеры, тип ленты. Замена происходит либо зарядкой новой катушки в используемый питатель, либо зарядкой в другой питатель, подготовленный заранее.

При установке нового трея в палету необходимо проверить положение компонентов в ячейках и их полярность. Палета с новым треем помещается в зону загрузки, нажимается кнопка подтверждения.

Зарядка ленточных и лотковых питателей идентична процессу, описанному в разделе 7.7.2.

После зарядки нового компонента проводится верификация. После успешной верификации процесс монтажа запустится автоматически.

7.8.4 Сплайсирование лент

Сплайсирование лент — это приращивание ленты новой катушки к уже установленной в питателе.

Сплайсирование лент обеспечивает безостановочный процесс монтажа, что увеличивает производительность линии.

При появлении сообщения о том, что компонент заканчивается (Part Empty Warning), следует приступить к наращиванию лент.

В основном сплайсируются ленты шириной 8 мм, но практикуется сплайсирование лент большего размера.

Существует несколько методов сплайсирования лент, но наиболее надежным и популярным является сращивание с использованием обжимного оборудования (Crimping jig) основных лент.



Тележка для сплайсирования с обжимным оборудованием

Для сплайсирования необходимы следующие материалы:

1. Скоба для крепления лент.
2. Наклейки для сплайсирования лент.

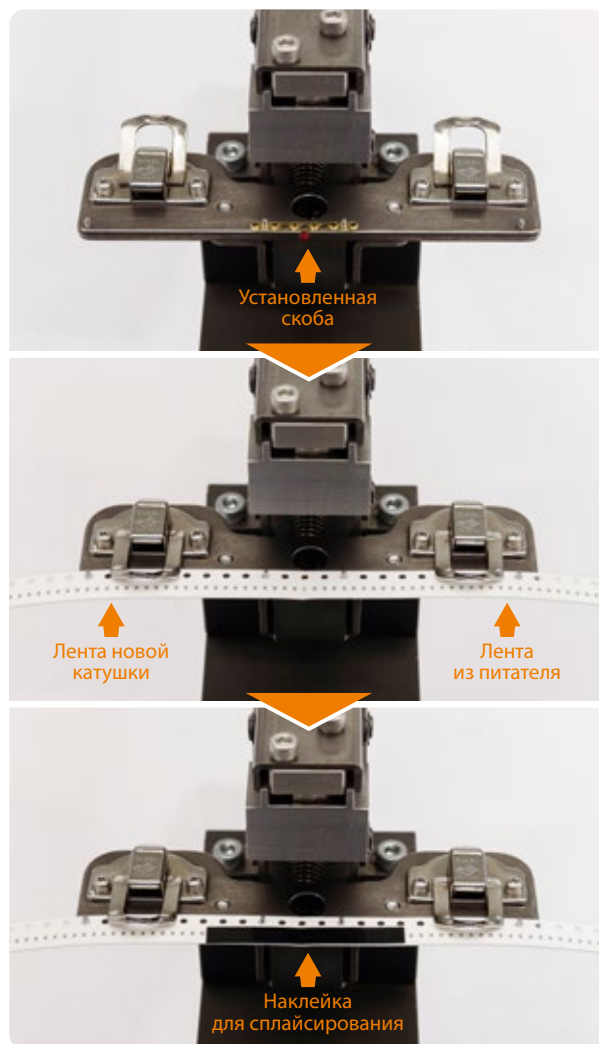


Скобы для крепления лент



Наклейка для сплайсирования лент

Суть сплайсирования заключается в соединении металлической скобой края используемой в питателе ленты с новой с помощью обжимного оборудования.



Процесс сплайсирования

Также для фиксации соединения лент используются наклейки с двух сторон: с одной стороны на покрывную ленту, а с обратной — на перфорацию.

После сплайсирования проводится обязательная верификация. PapaCIM может хранить информацию только об одной катушке, сращенной с основной катушкой. Не допускается одновременное сращивание трех катушек. Можно первую катушку срастить со второй, и после того, как закончится первая, срастить общую катушку с третьей, и т. д.

Срастить можно только те катушки, для которых выведено на сенсорный монитор предупреждение «скорого истощения катушки».

7.8.5 Ошибки при монтаже

При возникновении ошибок в процессе монтажа, на экране монитора автомата-установщика отобразится описание ошибки, окно с возможностью просмотра и настройки позиции захвата, а также окно с просмотром экрана распознавания последнего компонента.

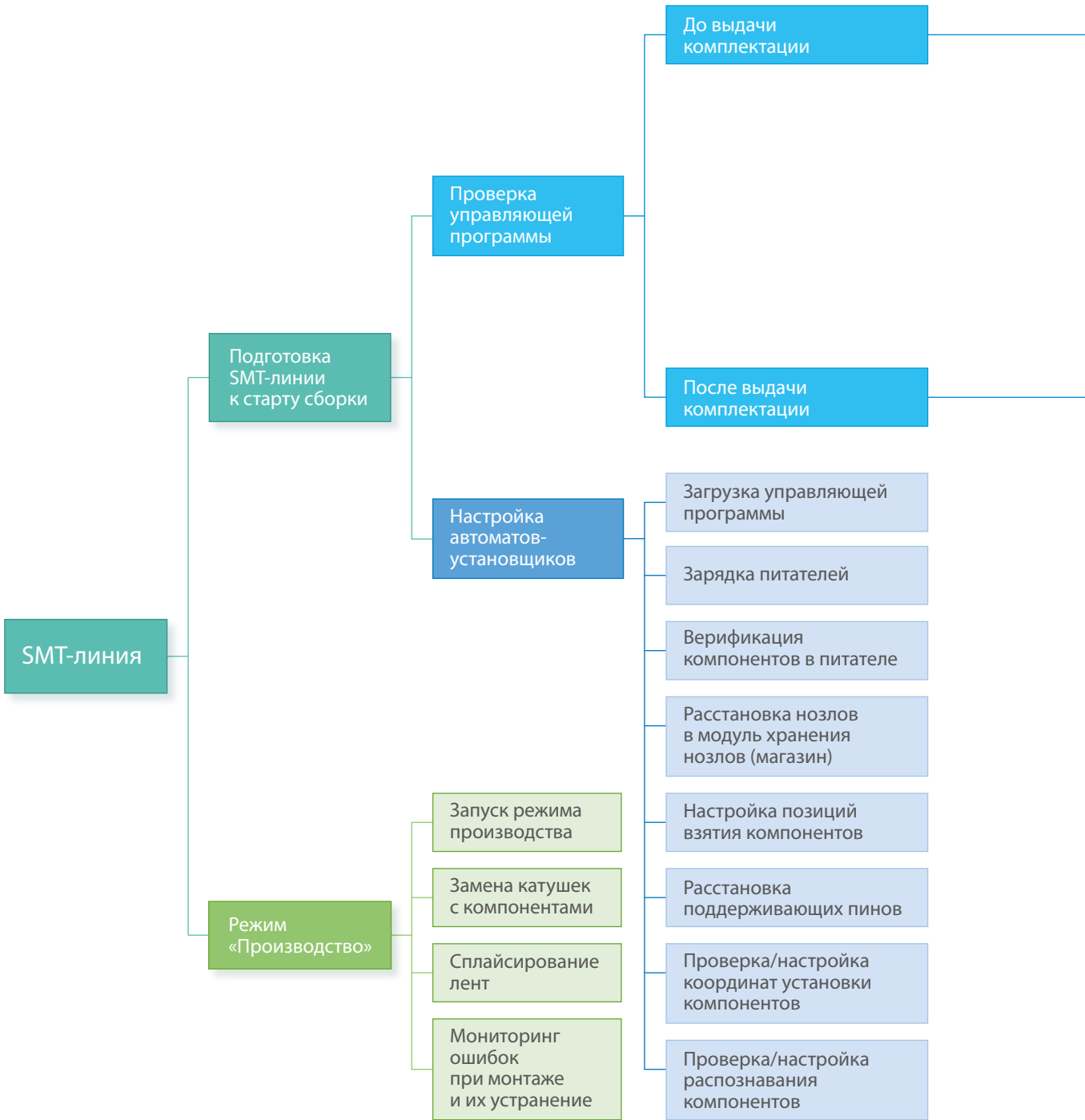
Примеры наиболее часто возникающих ошибок:

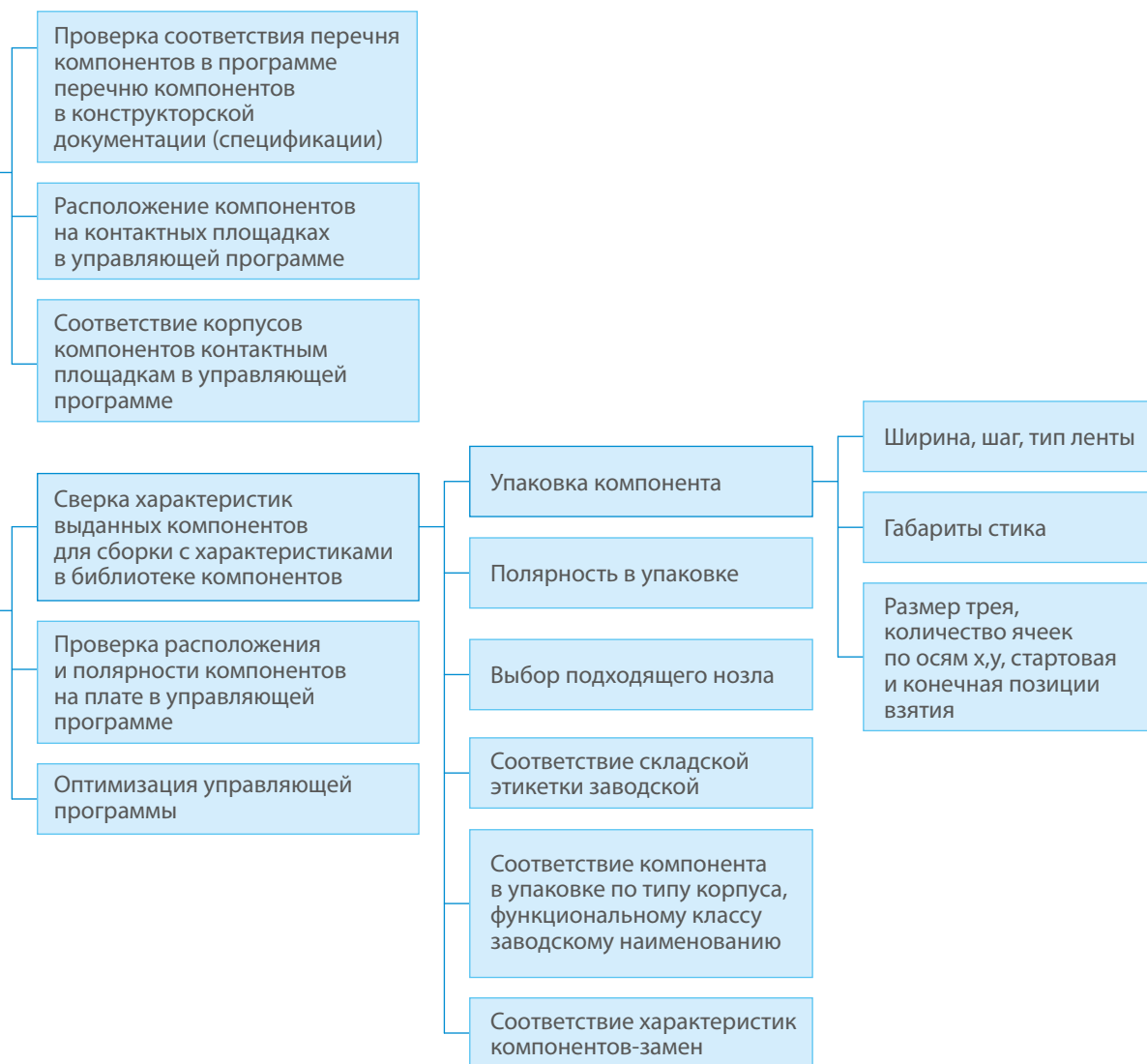
1. **Pickup error** — ошибка взятия компонента. Наиболее частая причина — некорректная настройка позиции взятия или условия взятия.
2. **Part recognition error** — ошибка распознавания компонента. Ошибка возникает при некорректной настройке освещения компонента — отсутствии контраста выводов или нечетком контуре корпуса.
3. **Pickup pos displaced** — смещение позиции захвата. Ошибка возникает при настройке позиции захвата со смещением относительно нулевой координаты захвата, которая соответствует риску на питателе. В процессе сборки позиция захвата еще больше смещается и в момент срабатывания

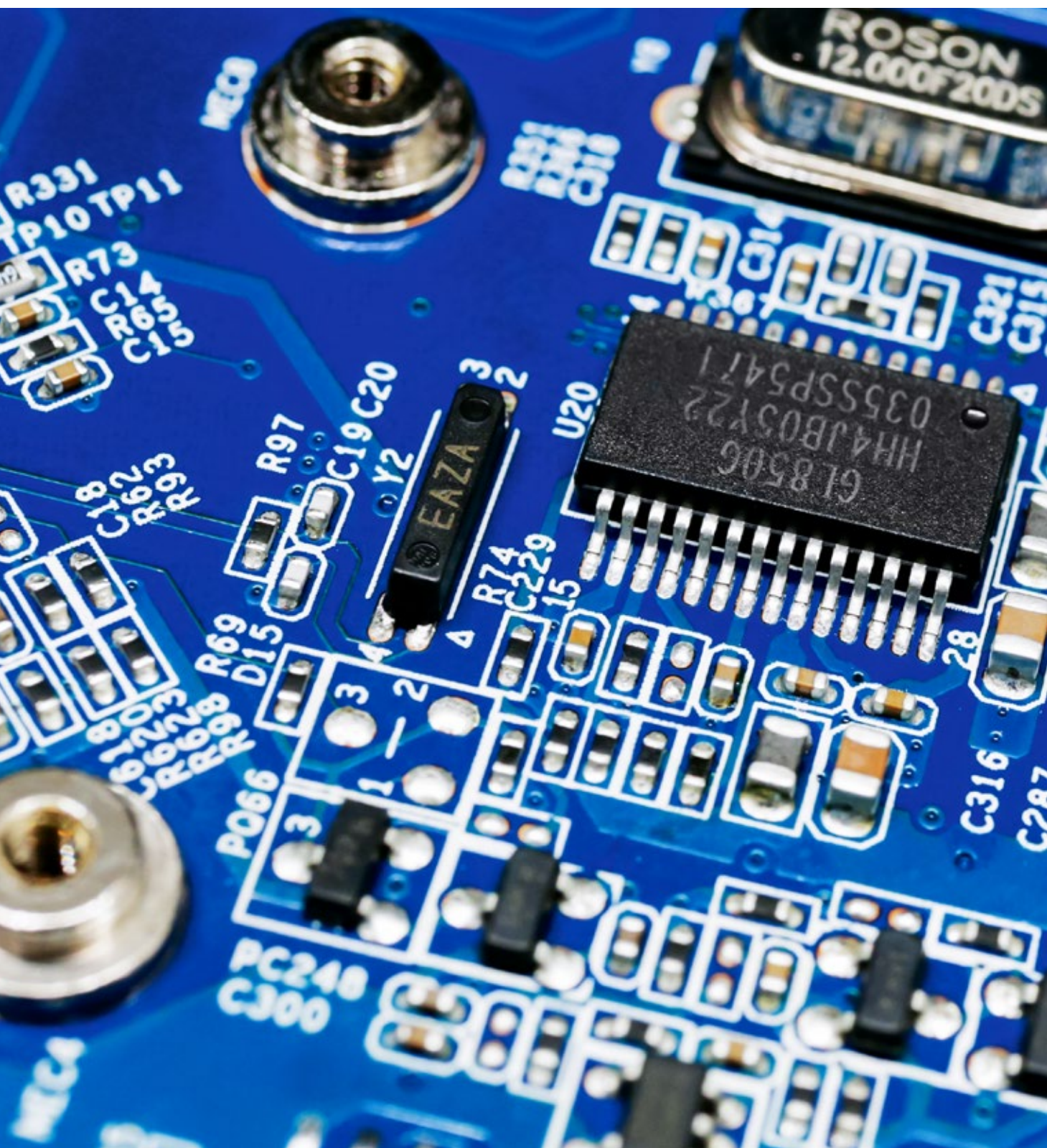
ошибки выходит за пределы допустимых значений отклонения от центра захвата (смещение на единицу шага).

4. **No splicing check** — не зарегистрирован сплайсинг катушек. Возникает в случае, когда оператор срастил ленты, но забыл провести верификацию сплайсирования. Датчик детектирования сплайсинга обнаружил место наращивания (либо счетчик установленных компонентов из ленты исчерпал количество в катушке), но из-за отсутствия информации о следующей ленте выдал ошибку.
5. **Tape Cover Detection** — детектирование посторонних предметов датчиками обнаружения помех. Возникает в случае, когда в зоне взятия компонентов датчиками обнаружен посторонний предмет. Это может привести к повреждению нозлов или осей установочной головы о посторонний предмет. Оператору необходимо открыть крышку установщика и проверить зону захвата компонентов на предмет наличия оторванной покрывной ленты, упавших на питатели компонентов, выступающей основной ленты и других посторонних предметов.
6. **Cover Tape Exhaust** — закончилась покрывная лента. Возникает в случае, когда в процессе монтажа покрывная лента оборвалась или накрутилась на шестерню питателя.

SMT-монтаж. Схема-памятка







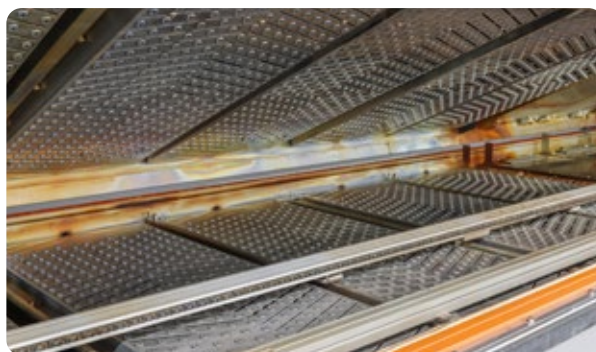


Пайка оплавлением

8.1 Конвекционная печь

Печь — это оборудование, предназначенное для оплавления паяльной пасты за счет воздействия тепловой энергии. Результатом оплавления является надежное паяное соединение.

На производствах НПО СтарЛайн для оплавления паяльной пасты используются конвекционные печи SMIC Senju SNR-1065GT и Rehm Thermal Systems Vision XP+ nitro 4550 Type 944.



Печь Senju SNR-1065GT в открытом виде



SMIC Senju SNR-1065GT



Rehm Thermal Systems Vision XP+ nitro 4550 Type 944

Основные элементы печи:

1. **Калорифер** (нагреватель) — это агрегат, основу которого составляет металлический теплообменник, который нагревается за счет электричества и передает свое тепло потоку воздуха.
2. **Вентиляционная система** отвечает за движение и циркуляцию воздушной массы.
3. **Пластины с соплами** — распределитель воздушной массы, который равномерно направляет поток воздуха на печатную плату.
4. **Змеевиковый теплообменник с хладагентом** — это трубчатый теплообменник в форме спирали, внутри которого циркулирует охлаждающая жидкость (хладагент).
5. **Конвейер**, по которому печатная плата движется в печи.

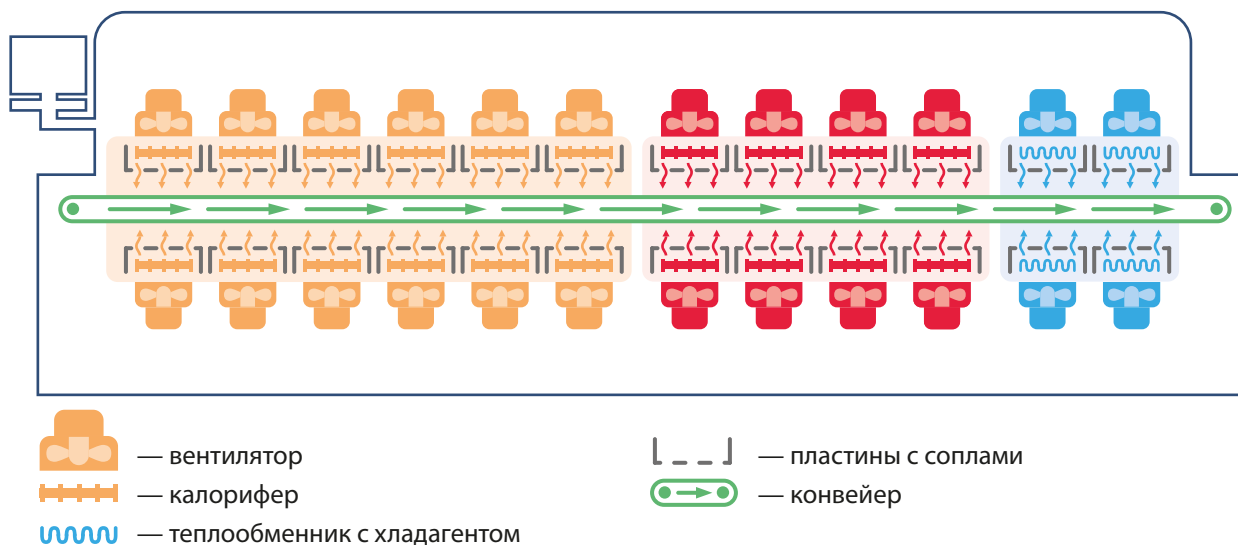
Работа системы нагрева: тепло в печах переносится за счет принудительного движения газовой среды (воздух или азот) встроенными вентиляционными системами через калориферы, а далее через пластины с соплами тепло переносится на печатные платы. Нагрев осуществляется с двух сторон — сверху и снизу.

Работа системы охлаждения: вентиляционная система направляет газовую среду (воздух или азот) через змеевик с хладагентом, а далее охлажденный воздух или азот через пластины с соплами воздействуют на печатную плату, тем самым охлаждая ее. Охлаждение осуществляется с двух сторон — сверху и снизу.

Печи отличаются количеством зон, в которых задается необходимая температура для качественного оплавления:

1. Печь Senju SNR-1065GT имеет 12 зон, на каждой из которой может быть запрограммирована определенная температура: шесть зон предварительного нагрева, четыре зоны пиковой температуры и две зоны охлаждения.
2. Печь Rehm Vision XP+ имеет 17 зон: девять зон предварительного нагрева, четыре зоны пиковой температуры и четыре зоны охлаждения.

Большее количество секций в печи гарантирует равномерный нагрев и охлаждение печатной платы, а также стабильность процесса и минимальный разброс температур.



Основные элементы печи

8.2 Термопрофиль процесса оплавления

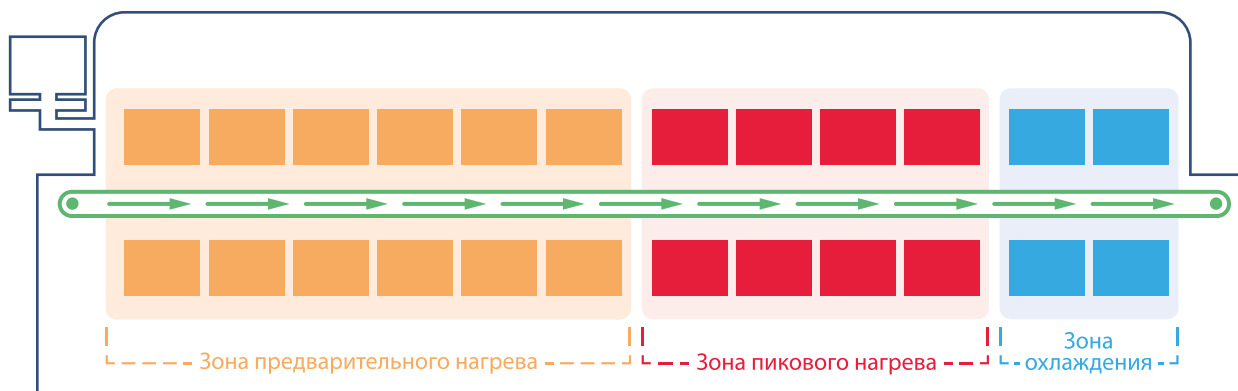
Общая суть процесса оплавления: печатная плата перемещается внутри печи по конвейеру через несколько температурных зон (зона предварительного нагрева, зона пикового нагрева и зона охлаждения), на выходе из печи между выводами компонентов и контактными площадками образуется надежное паяное соединение.

Каждая из зон пайки имеет свой температурный и временной диапазон, которые в совокупности являются **термопрофилем** пайки.

Термопрофиль — это график, построенный в координатах «время» (ось X) и «температура» (ось Y). Полученная кривая представляет собой изменение температуры в течение определенного времени.

Построение температурного профиля является основой процесса оплавления. Результатом правильно построенного температурного профиля является надежное паяное соединение между всеми выводами и контактными площадками.

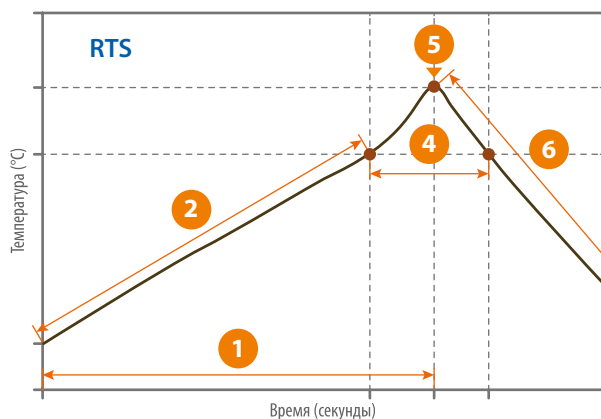
Выбор температурных и временных режимов пайки печатной платы зависит от вида паяльной пасты. Рекомендуемые профили пайки находятся в технических характеристиках для каждого вида паяльной пасты. Также в технической документации (Datasheet) высокотехнологичных компонентов со сложным функционалом (например, микропроцессоров) есть рекомендуемый термопрофиль, который необходимо учитывать при термопрофилеировании.



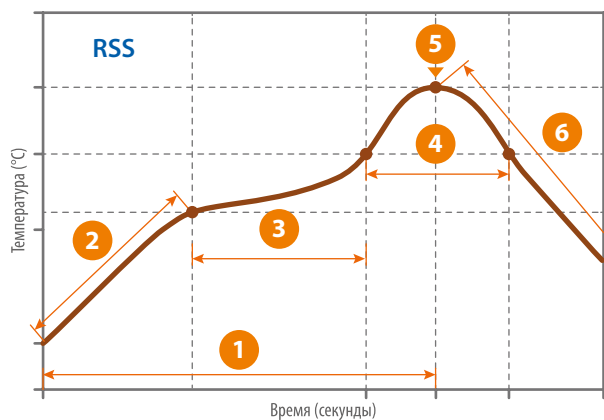
Зонирование конвекционной печи на примере Senju SNR-1065GT

Существует два основных термопрофиля пайки, рекомендуемые производителями паяльной пасты:

1. **RTS** (Ramp-To-Spike) — «нагрев — пик».
2. **RSS** (Ramp-Soak-Spike) — «нагрев — выдержка — пик».



Термопрофиль RTS



Термопрофиль RSS

Основные параметры термопрофиля из технической документации паяльной пасты:

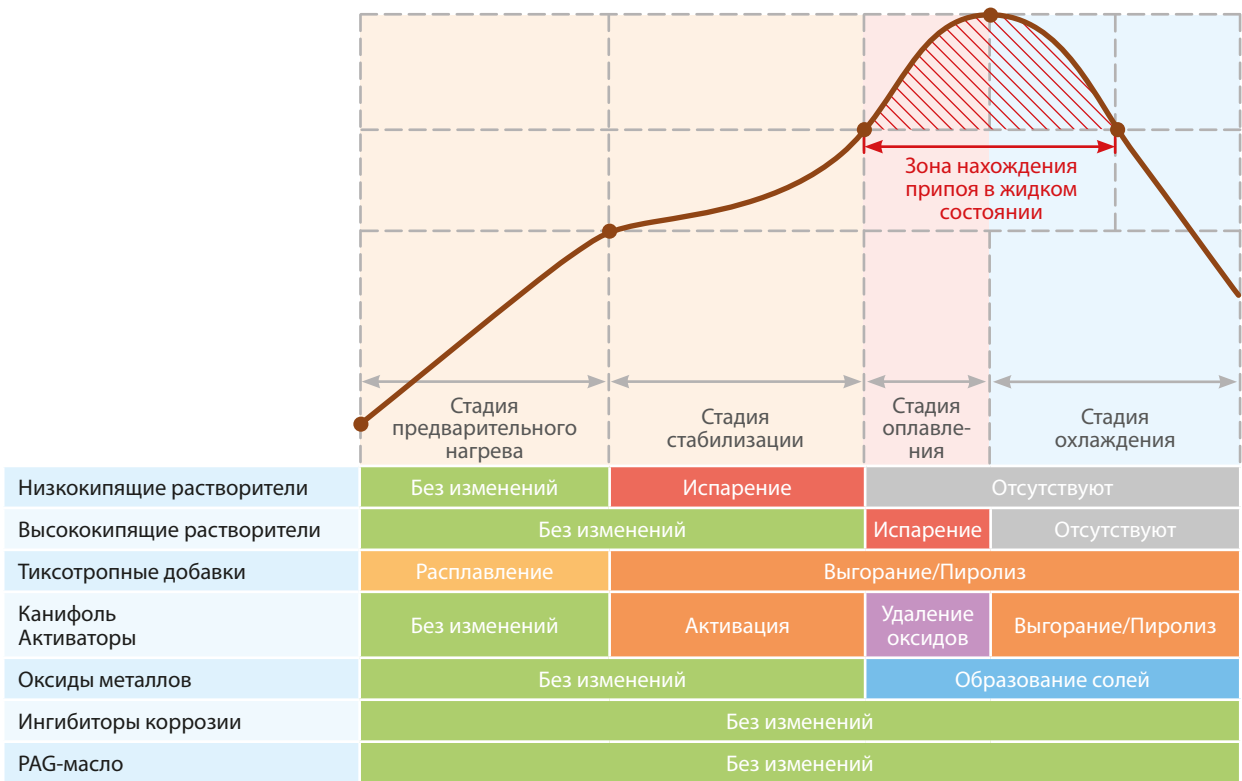
- 1 **Длительность термопрофиля** (Profile Length) — допустимый диапазон времени, затрачиваемый на нагрев платы от комнатной температуры до максимально допустимой температуры (пиковой температуры).
- 2 **Скорость набора температуры** (Ramp Rate) — скорость нагрева печатной платы, выраженная в изменении температуры в единицу времени (секунду). Для профиля RTS это скорость нагрева до перехода припоя в жидкое состояние, для RSS это скорость зоны предварительного нагрева.
- 3 **Зона стабилизации** (Soak) — диапазон температуры и времени, в течение которого плата находится на стадии стабилизации (для профиля RSS).
- 4 **Время нахождения припоя в жидком состоянии** (Time Above Liquidus) — это допустимое время, в течение которого припой может находиться в расплавленном (жидком) состоянии.
- 5 **Пиковая температура** — максимальная допустимая температура.
- 6 **Скорость охлаждения** (Cool Down Rate) — допустимое падение температуры, которое выражается в количестве градусов, на которое остывает плата за 1 секунду.

Исторически существовал только профиль RTS, так как электронные изделия отличались маленькими габаритными размерами, простыми электрическими схемами и небольшой компонентной базой. С развитием промышленности и радиоэлектроники появились высокотехнологичные электронные устройства, которые собираются на многослойных платах с использованием современной базы компонентов (модули, процессоры, микроконтроллеры и т. д.).

Высокотехнологичные электронные устройства паяются на профиле RSS, так как данный профиль гарантирует равномерное распределение тепловой энергии по всей печатной плате.

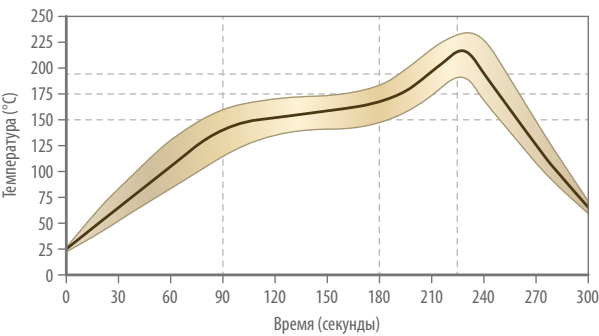
Изучим стадии оплавления и физико-химические процессы, происходящие с паяльной пастой и ее основными составляющими в процессе пайки.

Для этого рассмотрим основной тип профиля Ramp-Soak-Spike (RSS), используемого на производствах НПО СтарЛайн.



Физико-химические процессы, происходящие с основными составляющими паяльной пасты в процессе пайки

Пример параметров пайки из технической документации на свинцовосодержащую паяльную пасту (AIM):



Термопрофиль RSS для свинцовосодержащей паяльной пасты
— допустимые отклонения термопрофиля (технологическое окно), согласно параметрам из технической документации на паяльную пасту

Пример параметров пайки из технической документации на паяльную пасту (AIM):

Параметры	Значения
Длительность термопрофиля (Profile Length)	3–4,5 минуты от температуры 40 °C до температуры пика 205–235 °C
Зона стабилизации (Soak)	130–180 °C в течение 30–90 сек
Скорость набора температуры (Ramp Rate)	1–3 °C/сек
Время нахождения припоя в жидком состоянии (Time Above Liquidus)	30–90 сек
Скорость охлаждения (Cool Down Rate)	< 4 °C/сек
Температура плавления припоя (Melting Temperature)	179 °C

8.2.1 Стадия предварительного нагрева

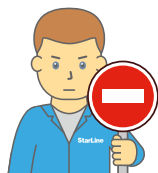
Предварительный нагрев необходим для:

- постепенного нагрева, который позволяет уменьшить тепловой удар на печатные платы и электронные компоненты;
- сохранения клейкости пасты (удержания компонентов на контактных площадках);
- предотвращения вскипания флюса в составе паяльной пасты.

Предварительный нагрев происходит от комнатной температуры до температуры активации флюса (25–130 °C).

При использовании паяльных паст на основе свинцовых сплавов предварительный нагрев рекомендуется осуществлять до температуры 100–130 °C, скорость повышения температуры профиля 1–3 °C/сек.

В процессе предварительного нагрева при 50 °C происходит расплавление тиксотропных добавок, которые выполняют роль «каркаса» отпечатка паяльной пасты, и паста растекается по площадке.

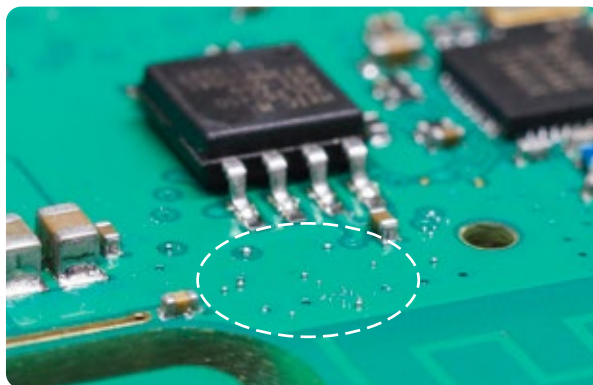


ОТКЛОНЕНИЯ ОТ РЕКОМЕНДАЦИЙ:

1. Превышение рекомендованной скорости предварительного нагрева.

- **Шарики припоя** (разбрызгивание флюса и припоя из паяльной пасты).

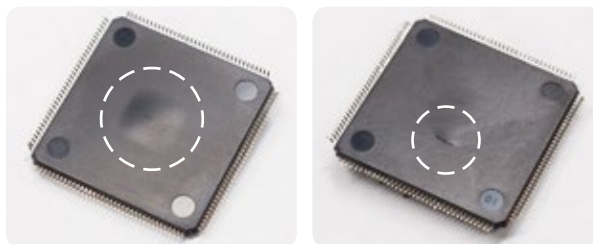
Причина: преждевременное испарение растворителя, входящего в состав паяльной пасты, приводит к разбрызгиванию шариков припоя из состава пасты. Это происходит из-за того, что растворители в составе паяльной пасты формируют структуру (консистенцию) пасты. В отсутствие растворителя шарики металла в составе пасты не соединены в одну массу, отсоединяются и разбрызгиваются в процессе пайки.



Шарики припоя

- **Вздутие и повреждение компонентов за счет теплового удара** («эффект покорна»).

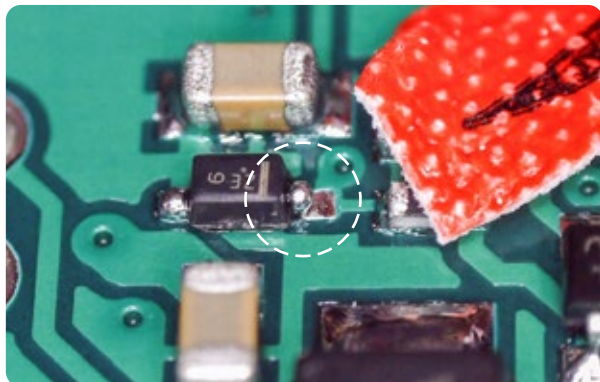
Причина: при нарушении процесса хранения электронных компонентов (см. параграф 6.3.2) корпуса и внутренние элементы компонентов «впитывают» влагу. При высокой скорости нагрева даже небольшое количество влаги внутри компонента быстро закипает, что приводит к вздутию корпуса («эффект попкорна»).



Вздутие и трещины на корпусе компонента

- **Отсутствие смачивания.**

Причина: при быстром наборе температуры испаряются активаторы (кислоты) из состава флюса, следовательно на стадии выдержки и оплавления паяемые поверхности не будут очищены от окислов.



Отсутствие смачивания

2. **Низкая скорость предварительного нагрева.**

- **Образование шариков припоя.**

Причина: из-за низкой скорости нагрева низкокипящие растворители медленно испаряются, и пузырьки газа не выходят из паяльной пасты. Следствием является образование отдельных полостей порошка припоя без флюса. При оплавлении порошок припоя из этой области расплавляется, выходит из-под компонента и образует дефект «шарик припоя».

8.2.2 Стадия стабилизации

Данную стадию называют «стадией температурного выравнивания», так как ее главная задача — обеспечить нагрев всех компонентов на печатной плате до одинаковой температуры.

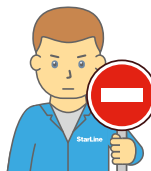
Что происходит с составляющими паяльной пасты на стадии стабилизации?

Происходит активация материала основания флюса и кислот (активаторы), которые обеспечивают удаление оксидов с паяемых поверхностей (контакт-

ные площадки, выводы электронных компонентов).

Также во время стадии стабилизации начинают выгорать тиксотропные добавки и испаряются низкокипящие растворители. Испарение растворителей должно идти плавно, без кипения и разбрызгивания.

Рекомендуемое время стабилизации для профиля с использованием свинцовой паяльной пасты составляет 30–90 секунд в диапазоне температур 130–180 °C.

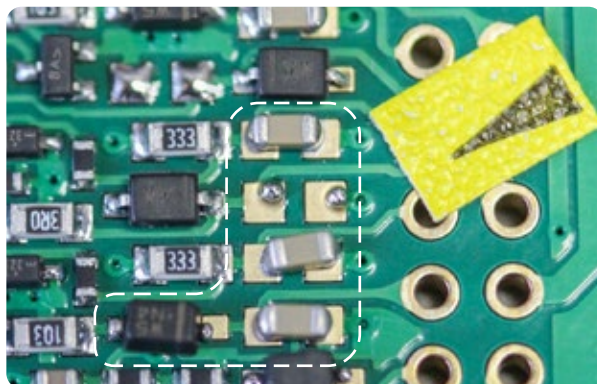


ОТКЛОНЕНИЯ ОТ РЕКОМЕНДАЦИЙ:

1. **Зона стабилизации слишком длинная (по времени) или слишком горячая.**

- **Отсутствие смачивания.**

Причина: если зона стабилизации дольше, чем указано в технической документации на паяльную пасту, то начнет падать кислотное число и активность флюса снизится. Это приведет к ухудшению паяемости. Из-за высокой температуры активаторы из состава флюса испарятся и не успеют снять окислы с паяемых поверхностей.

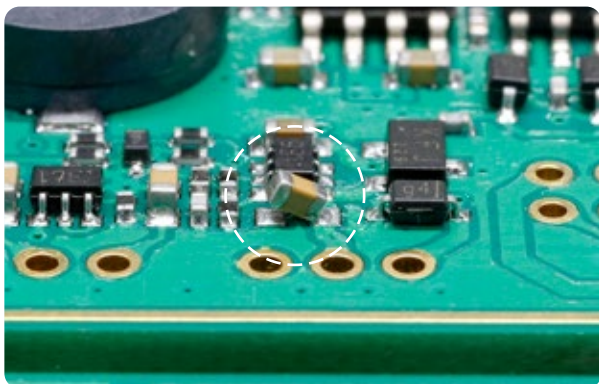


Отсутствие смачивания

- **Дефект «надгробный камень».**

Причина: при движении платы по конвейеру один из выводов компонента раньше заходит в зону стабилизации и следующие

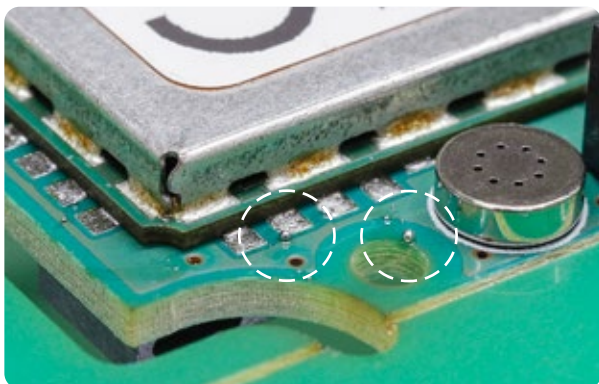
зоны, следовательно один вывод и площадка нагреваются раньше. Под воздействием силы тяжести и высокой температуры компонент приподнимается с одной стороны, а на стадии оплавления за счет поверхностного натяжения образуется дефект «надгробный камень».



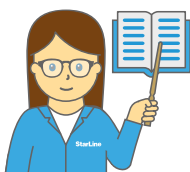
«Надгробный камень»

- **Шарики припоя** (разбрызгивание флюса и припоя из паяльной пасты).

Причина: при превышении температуры или времени стадии стабилизации флюс в составе паяльной пасты начинает кипеть и разбрызгиваться вместе с шариками припоя, входящими в состав паяльной пасты.



Шарики припоя



А знаете ли вы, что существует два разных дефекта: шарики припоя и бусинки припоя?

Важно знать, что шарики припоя и бусинки припоя близки по визуальной форме, но имеют разную причину возникновения.

Шарики припоя по размеру соответствуют диаметру порошка припоя из паяльной пасты (согласно типу пасты).

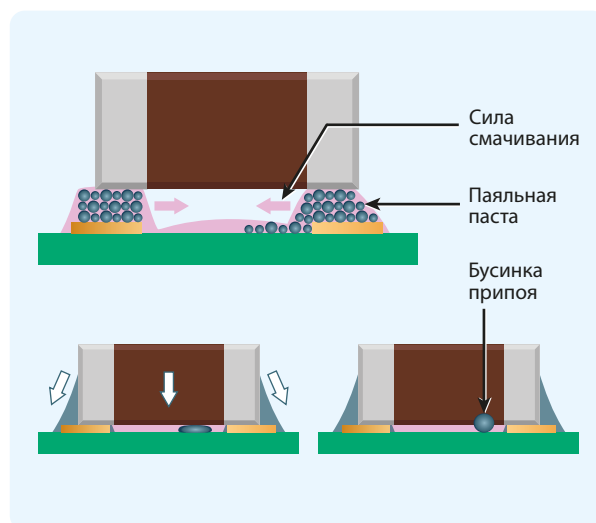
Причины образования шариков припоя:

1. Неплотное прилегание трафарета к печатной плате или загрязнение трафарета с обратной стороны.
2. Разбрызгивание припоя из паяльной пасты из-за высокой или низкой скорости преднагрева, а также из-за слишком длинной или слишком горячей зоны стабилизации.

Бусинки припоя являются частным случаем шариков припоя и отличаются большим размером (состоят из нескольких шариков припоя).

Причины образования бусинок припоя:

1. Переизбыток паяльной пасты на контактной площадке.
2. Неверная подрезка апертур трафарета под площадки чип-компонентов (подрезка должна быть выполнена одним из способов, указанных в параграфе 4.2).

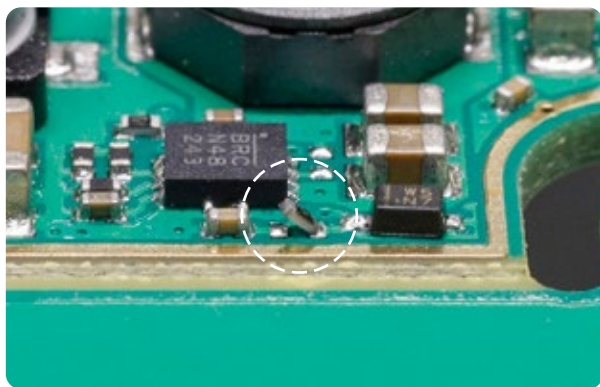


Образование бусинок припоя

2. Зона стабилизации слишком короткая или слишком холодная.

- **Дефект «надгробный камень».**

Причина: при движении платы по конвейеру один из выводов компонента раньше заходит в зону стабилизации и следующие зоны, следовательно один вывод и площадка нагреваются раньше. При короткой или слишком холодной зоне стабилизации плата не успевает прогреться равномерно. Из-за неравномерного прогрева и за счет сил поверхностного натяжения при переходе платы в зону оплавления один вывод запаивается раньше и поднимает второй вывод. Таким образом образуется дефект «надгробный камень».



«Надгробный камень»

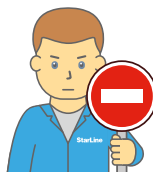
8.2.3 Стадия оплавления

На стадии оплавления температура повышается до температуры перехода паяльной пасты из твердого состояния в расплавленное (жидкое). Для свинцовосодержащей пасты температура перехода в жидкое состояние составляет 179–187 °С. Температура перехода паяльной пасты из твердого состояния в жидкое указывается в технической документации на паяльную пасту, а именно в характеристиках сплава, из которого выполнены шарики припоя в составе пасты. Именно на этой стадии происходит формирование паяного соединения между контактной площадкой и выводом электронного компонента.

Физико-химические процессы на стадии оплавления:

1. Испарение высокотемпературных растворителей, которое длится до пиковой температуры.
2. Активное удаление оксидов с контактных поверхностей (металлические поверхности) за счет активаторов (кислот). При данной реакции на поверхности металла образуются соли, которые впоследствии являются остатками флюса после процесса оплавления.
3. После процесса удаления окислов начинается выгорание материала основания флюса и кислот.

Для образования надежного паяного соединения при использовании свинцовой технологии максимальная температура пайки должна на 30–40 °С превышать точку плавления паяльной пасты и составлять 205–235 °С (на плате). Время, в течение которого печатная плата находится выше точки плавления, должно быть в пределах 30–90 сек.

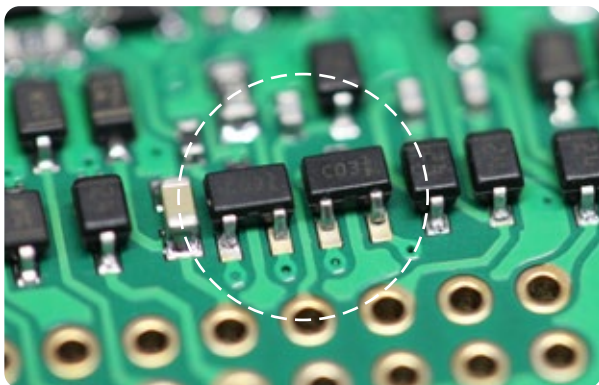


ОТКЛОНЕНИЯ ОТ РЕКОМЕНДАЦИЙ:

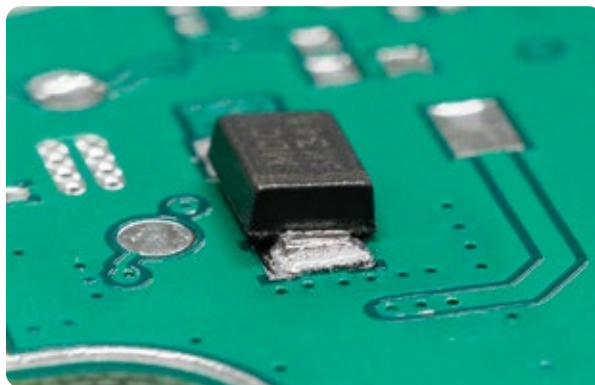
1. Чрезмерное время в жидкой фазе.

- **Отсутствие смачивания.**

Причина: на стадии оплавления активно идет удаление оксидов; если превысить допустимое время, то активаторы прореагируют и испарятся, а поверхности продолжают окисляться из-за воздушной атмосферы пайки. Так как кислоты прореагировали и выгорели, то окислы из воздушной среды не будут сняты, из-за чего произойдет несмачивание поверхностей.



Отсутствие смачивания

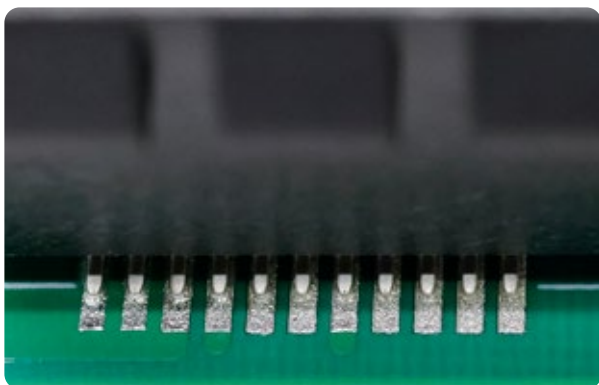


Паяное соединение состоит из видимых шариков припоя

2. Недостаточное время в жидкой фазе.

- **Хрупкие паяные соединения, «холодная пайка»** (не выдерживает механическое воздействие).

Причина: из-за недостаточного времени в жидкой фазе кристаллическая решетка внутри металла сформировалась с дефектами, поэтому в процессе эксплуатации происходит разрыв паяного соединения.



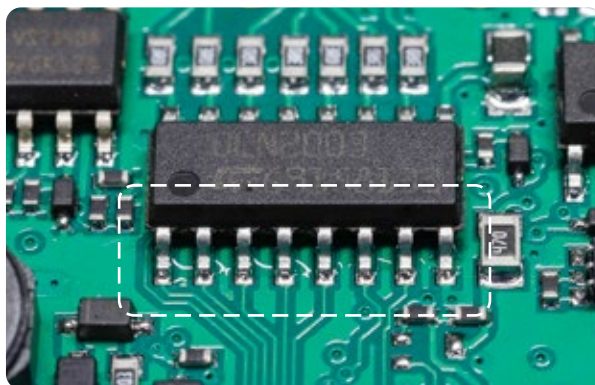
Холодная пайка

- **Паяное соединение состоит из видимых шариков припоя.**

Причина: из-за недостаточного времени в жидкой фазе не все шарики припоя в составе паяльной пасты расплавились, следовательно после оплавления паяное соединение будет состоять из видимых нерасплавленных шариков припоя.

- **Избыточное количество остатков флюса.**

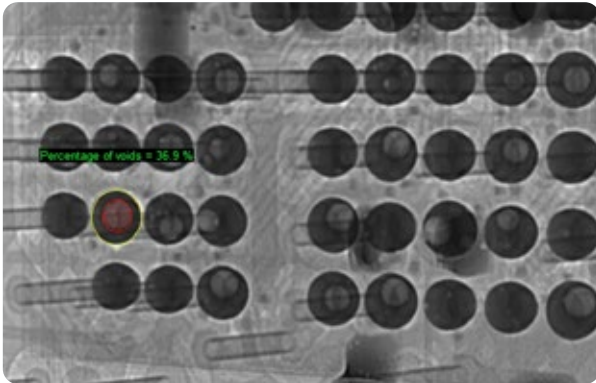
Причина: в зоне оплавления происходит испарение и выгорание всех основных составляющих флюса. При недостаточном времени оплавления флюс прореагирует не всем объемом, результатом будет являться избыточное количество остатков флюса на контактной площадке и паяном соединении.



Избыточное количество остатков флюса

- **Пустоты в паяном соединении.**

Причина: пустотами в паяном соединении являются продукты реакций составляющих флюса, то есть газы. При недостаточном времени в зоне оплавления газы не испаряются из паяного соединения, а остаются внутри него.



Пустоты в паяном соединении

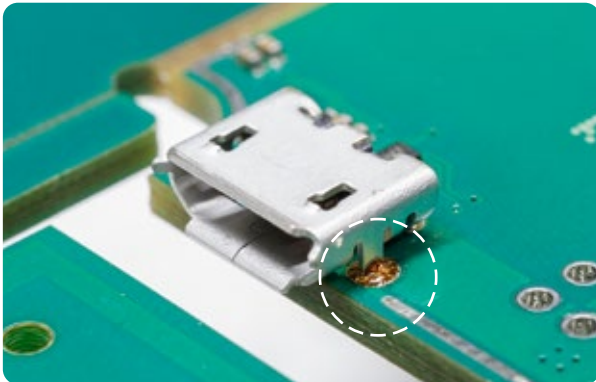


Повреждение компонентов

3. Пиковая температура слишком высокая.

- **Темные остатки флюса.**

Причина: из-за высокой температуры флюс выгорает, и продуктами горения являются темные остатки на паяном соединении.



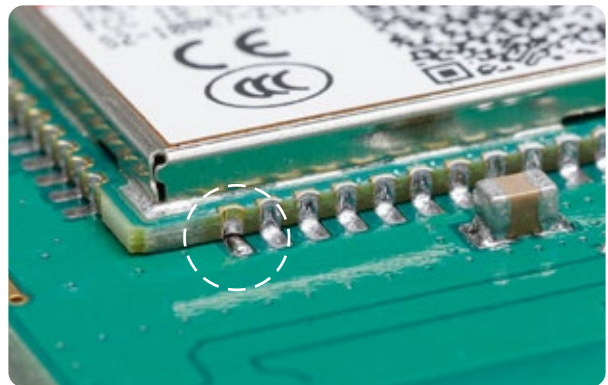
Темные остатки флюса

- **Повреждение компонентов.**

Причина: высокая температура (выше допустимой из технической документации (Datasheet) на электронный компонент или паяльную пасту) приводит к «взрыву» корпуса компонента или повреждению внутреннего строения (компонент выходит из строя).

- **Отсутствие смачивания.**

Причина: из-за высокой температуры активаторы в составе флюса выгорают и не очищают паяемые поверхности от окислов.

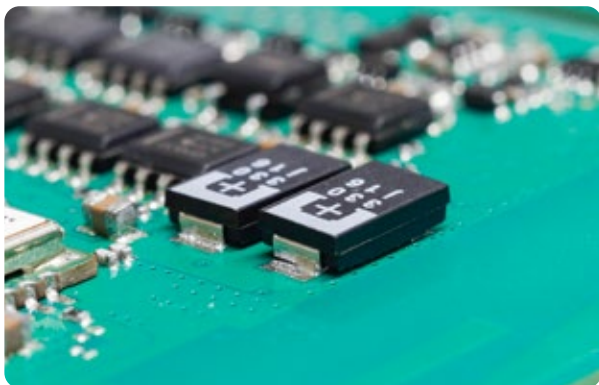


Отсутствие смачивания

4. Пиковая температура слишком низкая.

- **Хрупкие паяные соединения, «холодная пайка»** (не выдерживает механическое воздействие).

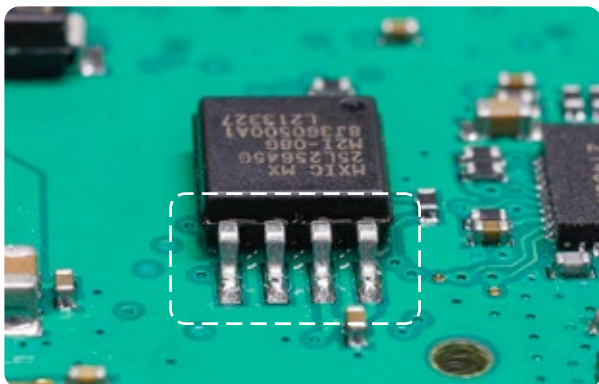
Причина: из-за недостаточной пиковой температуры шарики припоя в составе паяльной пасты расплавились частично, внутри металла образовалась дефектная кристаллическая решетка. В процессе эксплуатации происходит разрыв паяного соединения.



Трещины в паяном соединении

- **Избыточное количество остатков флюса.**

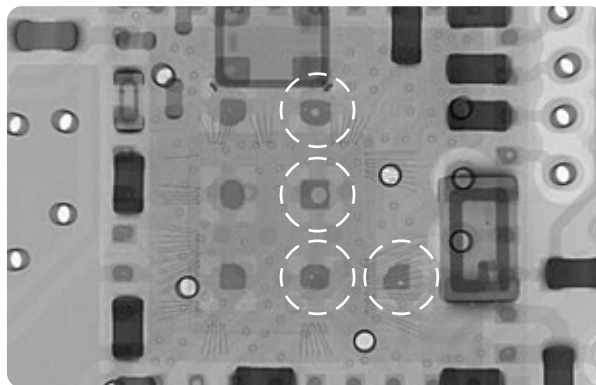
Причина: из-за низкой пиковой температуры основные составляющие флюса не могут испариться и улетучиться, следовательно остаются на паяном соединении после окончания процесса оплавления.



Избыточное количество остатков флюса

- **Пустоты в паяном соединении.**

Причина: пустотами в паяном соединении являются продукты реакций составляющих флюса, то есть газы. При недостаточной пиковой температуре газы остаются внутри паяного соединения.



Пустоты в паяном соединении

8.2.4 Стадия охлаждения

Стадия охлаждения необходима для отверждения припоя (образования кристаллической структуры), что обеспечивает максимальную прочность паяных соединений.

Остатки канифоли или смол после процесса оплавления становятся хрупкими и рассыпчатыми, поэтому PAG-масло из состава флюса пластифицирует остатки, предотвращая их осыпание после стадии охлаждения.

Ингибиторы коррозии покрывают остатки флюса после процесса пайки, препятствуя окислению паяного соединения и образованию продуктов коррозии.

Рекомендуемая скорость охлаждения 3–4 °C/сек до температуры ниже 130 °C.



ОТКЛОНЕНИЯ ОТ РЕКОМЕНДАЦИЙ:

1. Скорость охлаждения слишком высокая.

- **Растрескавшиеся остатки флюса** (царапины).

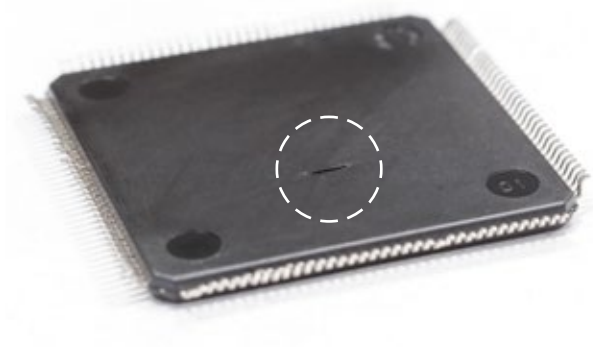
Причина: быстрое охлаждение ведет к неравномерному затвердеванию остатков канифоли и «сжиманию» остатков флюса, из-за чего появляются царапины.



Растрескавшиеся остатки флюса

- **Термический удар/повреждение компонентов.**

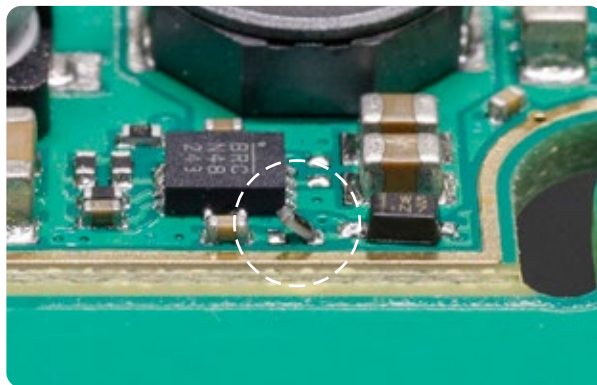
Причина: из-за высокой скорости охлаждения компонент получает термический удар, так как происходит резкий перепад температур. В результате компоненты могут выйти из строя или некорректно выполнять свои функции.



Термический удар компонента

- **Дефект «надгробный камень».**

Причина: при движении платы по конвейеру один из выводов компонента раньше заходит в зону охлаждения. При высокой скорости одно паяное соединение затвердевает быстрее и поднимает второй вывод, который был соединен с площадкой еще не затвердевшим припоем.

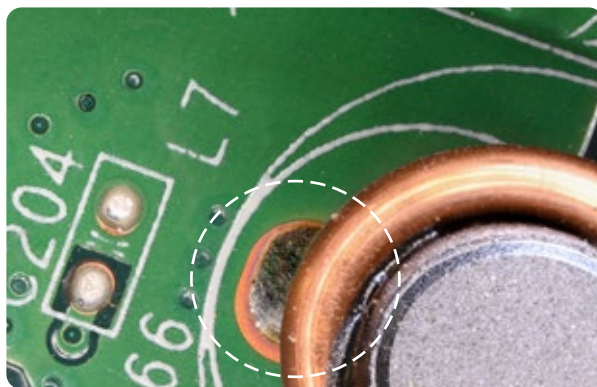


«Надгробный камень»

2. **Скорость охлаждения слишком медленная:**

- **Дефект «замерзшая вода»** (шершавая неравномерная поверхность паяного соединения).

Причина: из-за медленной скорости охлаждения паяное соединение застывает неравномерно и медленно (часть застывает, а часть остается в жидком состоянии), из-за чего появляется шершавая поверхность после охлаждения.



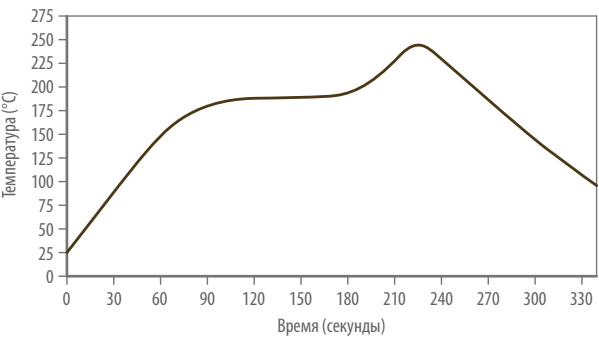
Дефект «замерзшая вода»

8.2.5 Специальные термопрофили

Производители паяльных паст разрабатывают дополнительные (специальные) профили для решения узконаправленных задач.

Например, у производителя AIM существует два профиля на базе профиля RSS для бессвинцовой технологии:

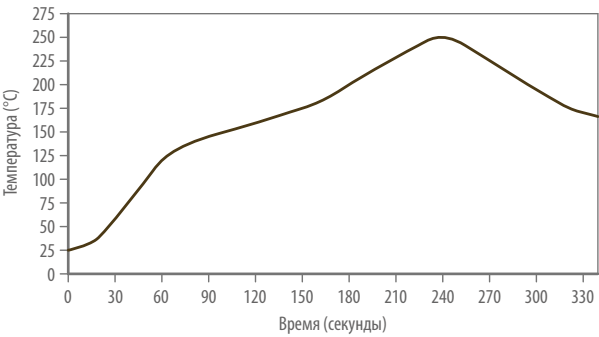
- 1. Профиль для уменьшения образования пустот в паяном соединении. Паяльная паста на 45–50% по объему состоит из флюса, специальный профиль помогает удалить большую часть флюса из паяного соединения во время оплавления.



Профиль для уменьшения образования пустот в паяном соединении

Параметры	Значения
Скорость набора температуры до зоны стабилизации (Ramp Rate to Soak)	< 3 °C/сек (рекомендовано 1–3 °C/сек)
Время нахождения в зоне стабилизации (Soak Zone) при температуре 150–200 °C	< 90 сек (рекомендовано 30 сек)
Время нахождения платы в печи от температуры 40 °C до пиковой температуры (Time from 40 °C to Peak)	3–4,5 мин
Время нахождения припоя в жидком состоянии (Time Above Liquidus)	30–90 сек
Пиковая температура (Peak Temperature)	230–250 °C для сплавов SAC и REL. 240–260 °C для сплавов SN100C и для сплавов с низким содержанием алюминия
Скорость охлаждения (Cooling Rate)	< 4 °C/сек

- 2. Профиль для уменьшения вероятности возникновения дефекта «голова на подушке» (Head-in-Pillow). Этот профиль помогает уменьшить последствия коробления корпусов с BGA-выводами, которое приводит к дефекту «голова на подушке».

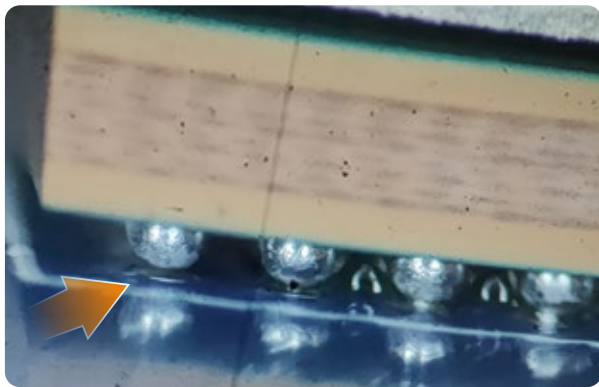


Профиль для уменьшения вероятности возникновения дефекта «голова на подушке»

Параметры	Значения
Скорость набора температуры до зоны стабилизации (Ramp Rate to Soak))	2–3 °C/сек
Температура в зоне стабилизации (Soak Zone)	150–180 °C
Время нахождения в зоне стабилизации (Soak Time)	30–90 сек
Скорость набора температуры от зоны стабилизации до пиковой температуры (Ramp Rate Soak to Peak)	Максимум 1–1,5 °C/сек
Время нахождения платы в печи от температуры 40 °C до пиковой температуры (Time from 40 °C to Peak)	4–4,5 мин
Время нахождения припоя в жидком состоянии (Time Above Liquidus)	> 60 сек
Пиковая температура (Peak Temperature)	230–250°C для сплавов SAC и REL. 240–260°C для сплавов SN100C и для сплавов с низким содержанием алюминия
Скорость охлаждения от пиковой температуры до 210 °C (Cooling Rate Peak to 210 °C)	Максимум 1–1,5 °C/сек
Скорость охлаждения после 210 °C (Cool Down Rate After 210 °C)	< 4 °C/сек

Дефект «голова на подушке» (Head-in-Pillow, HiP) — отсутствие смачивания между BGA-выводом и контактной площадкой после процесса пайки.

Коробление корпуса — это изменение формы корпуса компонента при воздействии температур в процессе пайки.



Дефект «голова на подушке»

8.3 Термопрофилирование

Для получения информации о термических процессах, которые происходят с печатной платой в момент ее оплавления в печи, необходимо проводить термопрофилирование при помощи термопрофилометра. На производствах НПО СтарЛайн используются термопрофайлеры KIC X5 и ECD Super M.O.L.E. Gold 2.



Термопрофайлер ECD Super M.O.L.E. Gold 2

Термопрофилирование необходимо, так как температура, выставленная в программе печи, отличается от фактической температуры паяного соединения (разница приблизительно 10–20 °C). Это происходит из-за того, что печатная плата и корпуса компонентов забирают часть тепла на себя (теплоемкость).

Каждое электронное изделие уникально, так как печатные платы отличаются габаритными размерами, количеством и толщиной слоев, а также количеством и видом электронных компонентов. Поэтому для каждого изделия строится индивидуальный график термопрофиля с применением термопрофайлера.



Различная компоновка печатных узлов

Начало процесса профилирования и принцип работы термопрофайлера (на примере KIC X5):

1. Пайка первого изделия выполняется на шаблонном профиле.

Первоначальные параметры для пайки нового изделия находятся в утвержденном шаблоне с базовой скоростью конвейера 1,07 м/мин.



Шаблонный термопрофиль на экране печи Senju (свинцовосодержащая паяльная паста)

Также технолог может подобрать стартовый профиль из базы готовых профилей. Критерии подбора: теплоемкость платы, компонентная база, технология сборки.



Кроме технической документации на паяльную пасту необходимо учитывать документацию на компоненты (Datasheet), в которой указана максимально допустимая температура пайки.

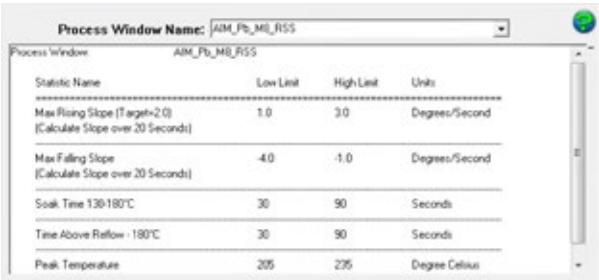
2. Внесение параметров технологического окна процесса в программу термопрофайлера.

Технологическое окно процесса — это совокупность технологических параметров, которые выставляют рамки процесса оплавления.

Технологическими параметрами являются диапазоны температур и скоростей в различных зонах

печи из технической документации паяльной пасты и из документации на высокотехнологичные компоненты.

Пример параметров технологического окна процесса:



Параметры технологического окна процесса в программе термопрофайлера KIC X5

- Max Rising Slope** — максимальная скорость набора температуры [°C/сек].
- Max Falling Slope** — скорость охлаждения [°C/сек].
- Soak Time** — время стадии стабилизации в определенном диапазоне температур [сек].
- Time Above Reflow** — время стадии оплавления припоя [сек].
- Peak Temperature** — пиковая температура (максимальная температура в зоне оплавления) [°C].

3. Внесение параметров пайки первого изделия в программу термопрофайлера на основании утвержденного шаблонного профиля.



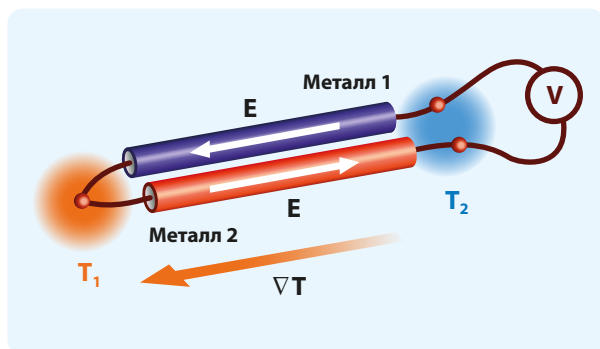
Пример параметров пайки первого изделия

Первоначальные параметры для пайки нового изделия заданы в шаблонном термопрофиле.

4. Присоединение **термопар** к плате, на которой уже установлены и запаяны компоненты (первая плата).

Термопара — это температурный датчик, который генерирует разницу потенциалов на выводах в зависимости от температуры.

Термопара представляет собой два провода, изготовленных из разных металлов и скрепленных или сваренных вместе. Место соединения образует спай. При воздействии на спай температуры термопара реагирует, генерируя напряжение, пропорциональное по величине изменениям температуры.



Термопара

Правила присоединения термопар

Термопары подсоединяют к «легким» и «тяжелым» компонентам, которые расположены на краях платы и вблизи центра. Таким образом удастся получить максимально достоверные результаты измерений.

Что значит «легкие» и «тяжелые» компоненты?

«Легкие» — это пассивные компоненты (резисторы, конденсаторы) и малогабаритные компоненты. К «тяжелым» относятся микросхемы с BGA-и QFN-выводами, модули, процессоры, разъемы

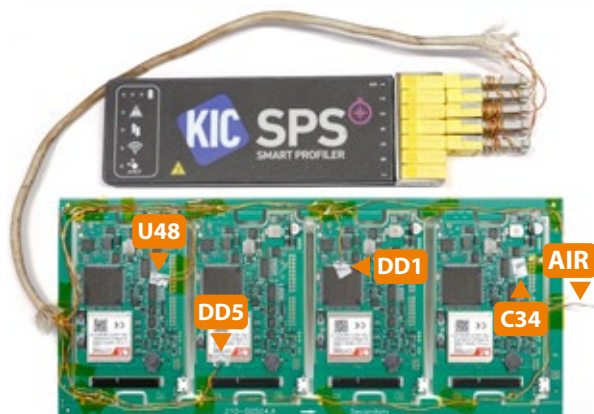
и другие крупногабаритные компоненты, которые требуют больше энергии (тепла) для создания паяного соединения.

Измерения рекомендуется проводить в шести точках:

1. Две термопары подключаются к «легким» компонентам, установленным в местах с максимальной теплоемкостью (земляные полигоны или рядом установлены теплоемкие компоненты).
2. Две термопары подключаются к «тяжелым» компонентам, установленным в местах с минимальной теплоемкостью (отсутствуют земляные полигоны и теплоемкие компоненты вокруг).
3. Две термопары подключаются к высокотехнологичным компонентам со сложным функционалом (процессоры, микроконтроллеры). У данных компонентов имеется свой рекомендуемый профиль оплавления, который указан в технической документации (Datasheet).

Седьмая термопара термопрофилировщика крепится изоляцией к печатной плате, и термопара измеряет температуру воздуха (AIR) в печи.

Крепление термопар: спай термопары крепится к точке паяного соединения при помощи алюминиевого термоскотча.



Подключение термопар к печатной плате с указанием позиционных обозначений компонентов

5. Запуск платы с термопрофайлером в конвекционную печь, на которой выставлены шаблонные параметры пайки первого изделия.



Запуск платы с термопрофайлером в конвекционную печь

6. Снятие показаний с термопрофайлера.

Окно результатов отображает следующую информацию:

- 1 График термопрофиля.
- 2 Точки (позиционные обозначения компонентов), к которым подключались термопары.
- 3 Фактическое время нахождения в зоне стабилизации и в зоне оплавления, фактическая скорость нагрева и охлаждения, фактическая пиковая температура в местах присоединения термопар.
- 4 Температурные данные зон печи и скорость конвейера, заданные при пайке 1-й платы.
- 5 Индекс PWI.
- 6 Рекомендуемый термопрофиль (рекомендации программы на основании индекса PWI).
- 7 Прогнозируемые температуры, скорости и время нахождения печатной платы в различных зонах при выборе рекомендуемого термопрофиля.

Индекс PWI — это индекс технологического окна процесса, который показывает соответствие выбранных температурных режимов рекомендованному окну процесса.

Оценка индекса PWI:

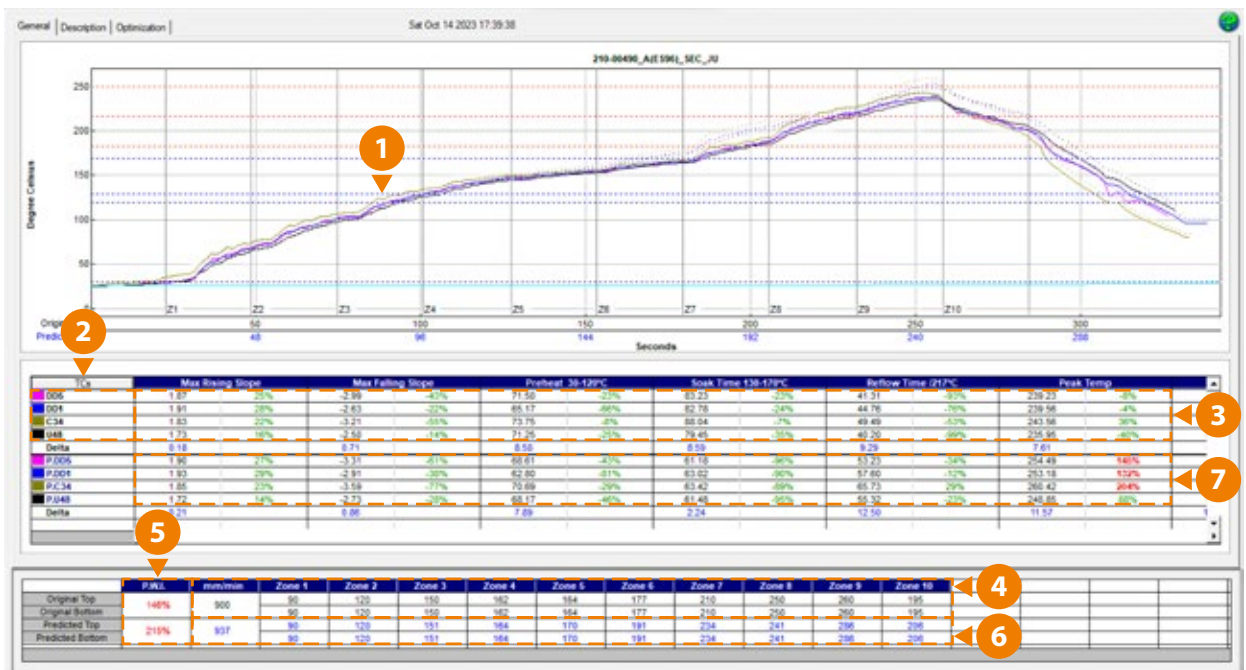
1. PWI, равный 100 и выше, означает, что профиль не соответствует техническим требованиям.
2. PWI менее 100 означает, что профиль соответствует техническим требованиям. Чем меньше число, тем ближе термопрофиль к центру окна процесса.

Концепция PWI характеризует каждый профиль с точки зрения того, насколько он близок к центру окна процесса. Это означает, что он автоматически ранжирует альтернативные профили.



После первого термопрофилирования необходимо использовать рекомендуемые значения температуры и скорости конвейера, предлагаемые программным обеспечением термопрофайлера, для проведения повторного термопрофилирования. Это необходимо для подтверждения рекомендаций и утверждения термопрофиля для данного изделия.

Результат термопрофилирования:



8.4 Пайка в воздушной и азотной средах

Пайка в конвекционных печах стандартно идет в воздушной среде. Из предыдущих разделов мы узнали, что молекулы кислорода из воздуха в процессе оплавления дополнительно окисляют шарики припоя в паяльной пасте, выводы компонентов и контактные площадки печатных плат.

Поэтому для изделий, где окисление в воздушной среде приводит к отклонениям в процессе пайки, а именно к отсутствию смачиваемости (при корректно настроенном термопрофиле), рекомендуется применять пайку в азотной среде.

Печи Senju и Rehm, используемые на производствах НПО СтарЛайн, обладают опцией пайки в азотной среде (азот закачивается в камеру печи, вытесняя собой воздух).

Преимущества пайки в азотной среде (на основе данных, предоставленных Rehm Thermal Systems):

1. Улучшается смачиваемость паяемых поверхностей.
2. Уменьшается вероятность образования шариков припоя. В азотной среде зерна припоя быстрее сплавляются в однородную массу, что предотвращает процесс отделения зерен припоя от общей массы отпечатка паяльной пасты. В воздушной среде на поверхности зерен припоя образуется оксидная пленка, из-за которой частицы отделяются и образуется дефект «шарики припоя».
3. Уменьшается вероятность образования «оловянных усов» при использовании бессвинцовой паяльной пасты.
4. Уменьшается вероятность образования дефекта «голова на подушке» (Head-in-Pillow, HiP) — присутствие зазора между BGA-выводом и оплавленным отпечатком паяльной пасты после процесса пайки.
5. Паяное соединение становится более блестящим и равномерным при использовании азота в бессвинцовой технологии.

Недостатки (на основе данных, предоставленных Rehm Thermal Systems):

Дефект «надгробный камень». Одна часть платы раньше оказывается в печи, следовательно один из выводов компонента раньше начинает припаиваться к контактной площадке, именно в этот момент второй вывод компонента начинает подниматься. Причиной увеличения количества данных дефектов является улучшенное смачивание в азотной среде, то есть один из контактов еще быстрее припаивается к площадке, а второй поднимается.

Существует мнение, что пайка в азотной среде влияет на процент содержания пустот в паяном соединении. Компанией Rehm экспериментально было опровергнуто это мнение. Для уменьшения процента пустот необходимо использовать вакуумную конвекционную печь.

8.5 Дефекты оплавления и способы их устранения

Дефекты оплавления выявляются при визуальном, рентгеновском контроле (глава 14) или при помощи Автоматической оптической инспекции (AOI) (глава 9).

Алгоритм работы с отклонениями (дефектами):

1. После того как технологическая отладка термопрофилирования выполнена согласно рекомендациям поставщика паяльной пасты, и последовательно произведен выпуск десяти печатных плат с отсутствием дефектов оплавления, термопрофиль переходит в статус «утвержденный» (для данного изделия).
2. Если в процессе технологической отладки возникли дефекты оплавления, указанные в таблице ниже, то происходит корректировка профиля согласно рекомендациям поставщика.



Каждая корректировка сопровождается термопрофилрованием (подтверждением температурных режимов) с помощью термопрофайлера.

3. Если дефект оплавления возник на стадии сборки изделия после утверждения термопрофиля, то необходимо провести проверку предыдущих процессов на соблюдение рекомендаций:

- Процесс установки компонентов.
 - Процесс пастопечати.
 - Материалы: печатные платы, компоненты, паяльная паста.
 - Работоспособность конвекционной печи (запуск специализированного термопрофайлера).
4. Скорректировать термопрофиль печи, если в результате проверки отсутствуют нарушения рекомендаций в материалах и процессах, предшествующих процессу оплавления.

Для удобства технологической службы производители паяльных паст предоставили таблицы (для свинцовой и бессвинцовой технологий пайки), в которых указана взаимосвязь между возникающими дефектами оплавления и вероятными причинами их возникновения.



При фиксации дефекта оплавления технолог выполняет корректировки согласно таблице, в последовательности действий **слева направо**.

Пример: при контроле качества выявлен дефект — брызги флюса / паяльной пасты. Технолог вначале регулирует скорость предварительного нагрева согласно рекомендациям в Datasheet на паяльную пасту. Если изменение скорости предварительного нагрева не решит проблему, то необходимо перейти к регулировке зоны стабилизации.

Вероятные причины возникновения дефектов при использовании свинцовосодержащих паяльных паст

	Возможная причина				
Проблема	Скорость предварительного нагрева слишком высокая	Скорость предварительного нагрева слишком низкая	Зона стабилизации слишком длинная или слишком горячая	Зона стабилизации слишком короткая или слишком холодная	Чрезмерное время в жидкой фазе
Темные остатки флюса					
Хрупкие паяные соединения, «холодная пайка» (не выдерживает механическое воздействие)					
«Замерзшая вода» (шершавая неравномерная поверхность паяного соединения)					
Повреждение компонента					
Растрескавшиеся остатки флюса (царапины)					
Отсутствие смачивания					
Паяное соединение состоит из видимых шариков припоя					
Избыточное количество остатков флюса					
Шарики припоя (брызги флюса / паяльной пасты)					
Вздутие/повреждение компонента («эффект попкорна»)					
Термический удар/повреждение компонентов					
Дефект «надгробный камень»					
Пустоты в паяном соединении					

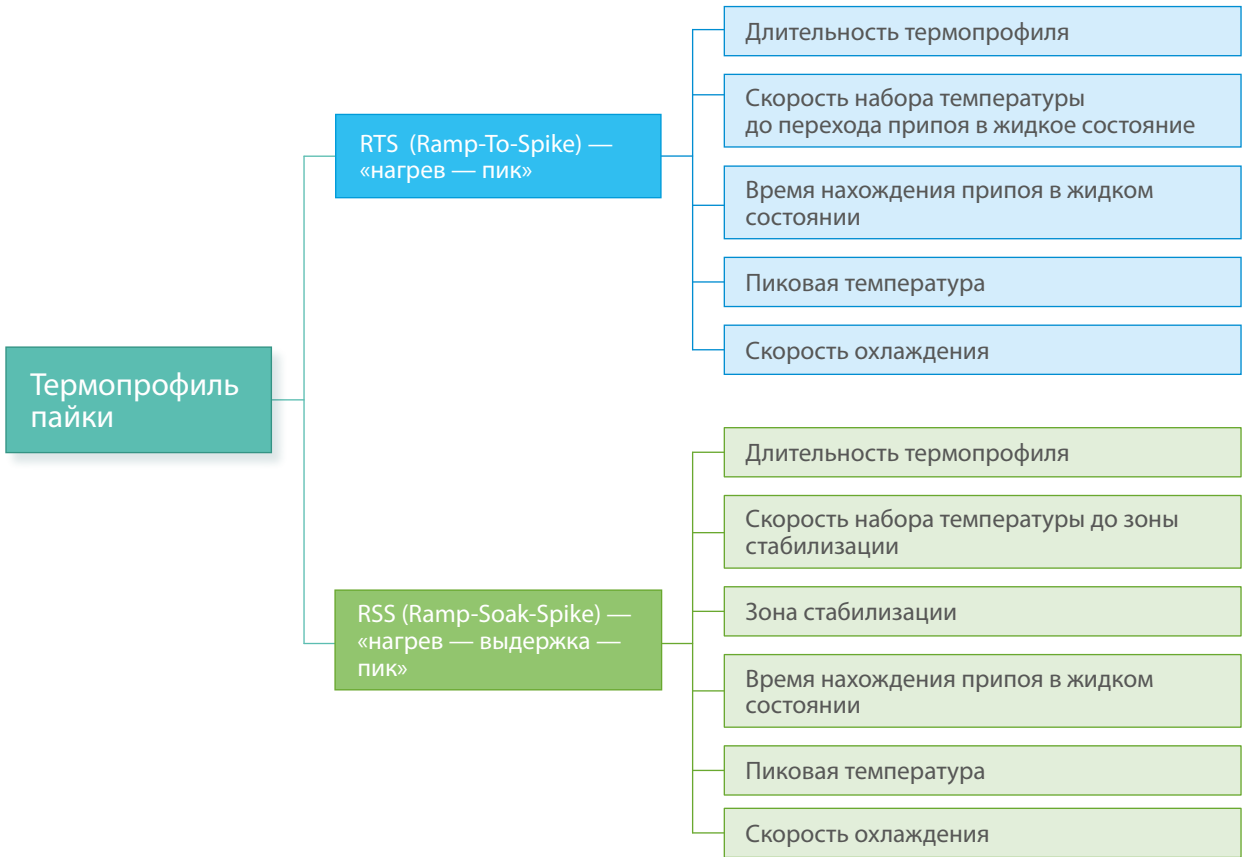
Возможная причина						
Недостаточное время в жидкой фазе	Пиковая температура слишком высокая	Пиковая температура слишком низкая	Скорость охлаждения слишком высокая	Скорость охлаждения слишком низкая	Слишком длинный профиль	Слишком короткий профиль
						
						
						
						
						
						
						
						
						
						
						

Вероятные причины возникновения дефектов при использовании бессвинцовых паяльных паст

Проблема	Возможная причина				
	Время предварительного нагрева слишком велико	Недостаточное время предварительного нагрева	Температура предварительного нагрева слишком высокая	Температура предварительного нагрева слишком низкая	Чрезмерное время в жидкой фазе
Темные остатки флюса					
Хрупкие паяные соединения, «холодная пайка» (не выдерживает механическое воздействие)					
Деформация / повреждение компонента					
Растрескавшиеся остатки флюса (царапины)					
Отсутствие смачивания					
Шарики припоя					
Избыточное количество остатков флюса					
Брызги флюса					
Вздутие/повреждение компонента («эффект попкорна»)					
Разбрызгивание шариков припоя					
Термический удар/повреждение компонентов					
Дефект «надгробный камень»					
Пустоты в паяном соединении					
Затекание припоя в переходные отверстия					
Дефект «голова на подушке»					

Возможная причина						
Недостаточное время в жидкой фазе	Пиковая температура слишком высокая	Пиковая температура слишком низкая	Скорость охлаждения слишком высокая	Скорость охлаждения слишком низкая	Слишком длинный профиль	Слишком короткий профиль

Пайка оплавлением. Схема-памятка







9

**Автоматическая оптическая
инспекция качества монтажа
(AOI)**

9.1 Основные понятия и оборудование автоматической оптической инспекции

Автоматическая оптическая инспекция (AOI — Automated Optical Inspection) — это 2D- и 3D-система автоматической проверки печатных плат, которая измеряет реальную форму компонентов, паяных соединений, проверяет наличие перемычек и инородных материалов на собранных и запаянных печатных платах.

AOI визуализирует запаянные компоненты на печатной плате в режиме реального времени, количественно определяет высоту компонента и объем паяного соединения.



Главная задача AOI — контроль высокого уровня качества технологических процессов:

- качества пастопечати (дублирующая проверка);
- установки компонентов (наличие компонента, установленного на позиционном месте верной полярностью в соответствии с конструкторской документацией);
- оплавления (качество образованного паяного соединения в соответствии с IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок»).

Автоматическая система обеспечивает:

1. Высокую производительность проверки компонентов и паяных соединений.
На примере изделия StarLine E96:
Проверка AOI — 5455 компонентов в минуту.
Проверка человеком — 4 компонента в минуту.
2. Отсутствие «человеческого фактора» (вероятность пропуска дефекта).

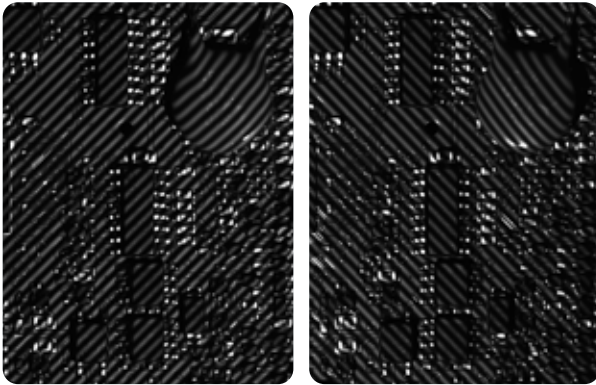


Koh Young ZENITH

На производствах НПО СтарЛайн используется автоматическая оптическая инспекция Koh Young ZENITH.

Точность позиционирования оптической камеры (головы) машины составляет ± 20 мкм.

Принцип работы ZENITH аналогичен работе SPI и основан на методе многочастотного муара (см. параграф 5.2).



Метод многочастотного муара в Koh Young ZENITH

Результат инспекции оперативно отображается на мониторе оборудования, установленного в производственную линию.

При отсутствии отклонений на плате машина автоматически признает плату годной и отправляет ее дальше по технологическому маршруту.

Если машина нашла какие-либо отклонения на плате, то оператор принимает одно из решений по результатам инспекции:

1. Печатная плата признается годной (отсутствуют дефекты).
2. На плате присутствуют несоответствия, требующие доработки.

Платы, требующие доработки, направляются на станцию пересмотра (Review Station), которая установлена вне производственной линии. На станции пересмотра оператор принимает конечное решение — подтверждает наличие или отсутствие конкретного дефекта на печатной плате.

Платы, прошедшие станцию пересмотра и получившие статус «на доработку», направляются на ремонтную станцию (Repair Station), где сотрудник монтажного участка выполняет необходимый ремонт.

Также на производствах НПО СтарЛайн используется система Pre-AOI.

Pre-AOI — система автоматического контроля наличия компонентов, установленных в позиционных местах верной полярностью в соответствии с конструкторской документацией после процесса установки на линии SMT.

На производствах НПО СтарЛайн в качестве pre-AOI используется Koh Young ZENITH, как и для оптической инспекции после оплавления.

Система pre-AOI является дополнительным оборудованием, поддерживающим высокий уровень качества.

Преимущества системы pre-AOI:

1. Предотвращение перехода платы с дефектами установки к следующему этапу сборки (оплавлению).
2. Оперативная корректировка параметров установки на основании результатов инспекции.
3. Снижение стоимости ремонта печатных плат. Устранение дефектов на плате, связанных с некорректной установкой компонентов с BGA- и QFN-выводами, является дорогостоящим, поэтому обнаружение дефекта установки до процесса оплавления сокращает затраты производства в 10 раз (правило «10-кратных затрат»).

9.2 Параметры проверки АОИ

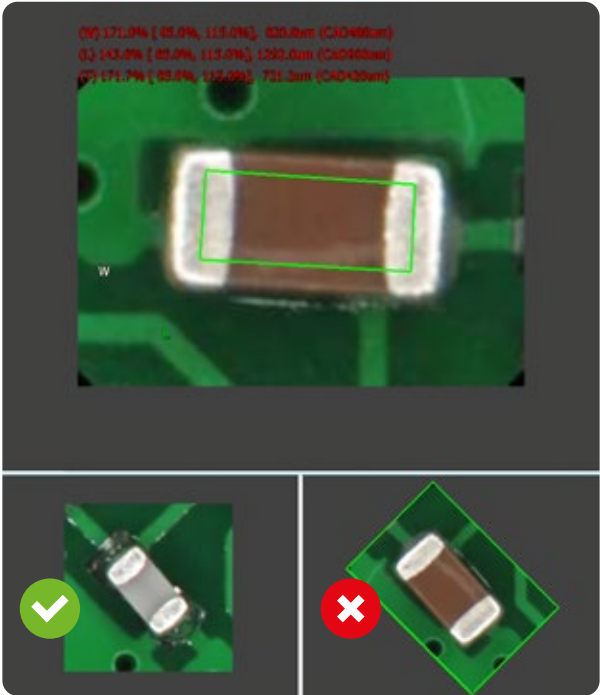
АОИ осуществляет проверку следующих параметров:

1. **Missing** — наличие компонентов и выводов согласно конструкторской документации.

2. **Dimension** — габаритные размеры (проверка размеров компонента относительно размеров, указанных в технической документации (Datasheet)).

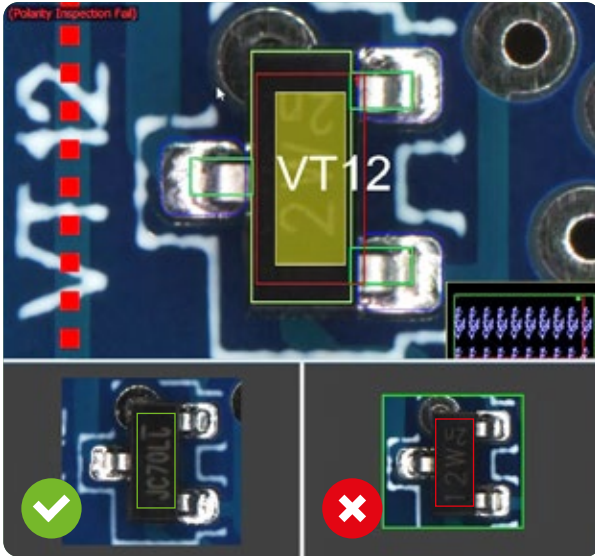


Отсутствие компонента



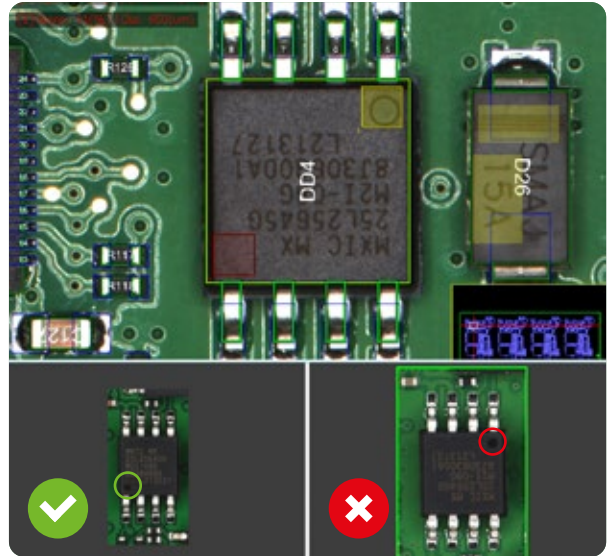
Несоответствие габаритных размеров

3. **OCV/OCR** — маркировка компонента (позволяет проверить и распознать буквы, цифры, изображения, напечатанные на поверхности компонента).



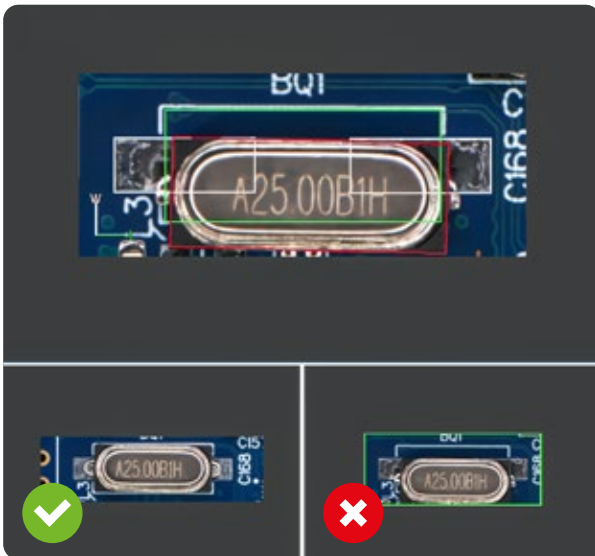
Неверная маркировка компонента

5. **Polarity** — полярность компонента (положение полярности компонента в соответствии с конструкторской документацией).



Компонент установлен неверной полярностью

4. **Pad Overhang** — смещение корпуса и выводов компонента (позволяет проверить положение фактически установленного компонента относительно идеального положения на контактных площадках).



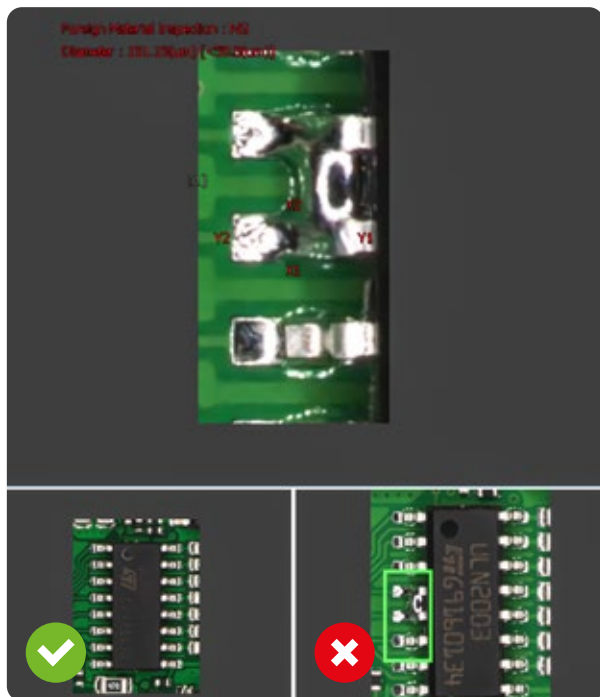
Смещение компонента относительно контактных площадок

6. **Coplanarity** — компланарность корпуса и выводов компонента (позволяет проверить компонент на наличие приподнятости корпуса и выводов).



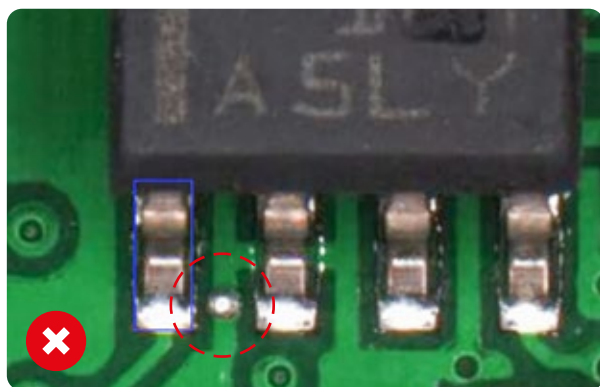
Приподнятый корпус компонента

7. Bridge — поиск перемычек (замыканий) между выводами компонента.



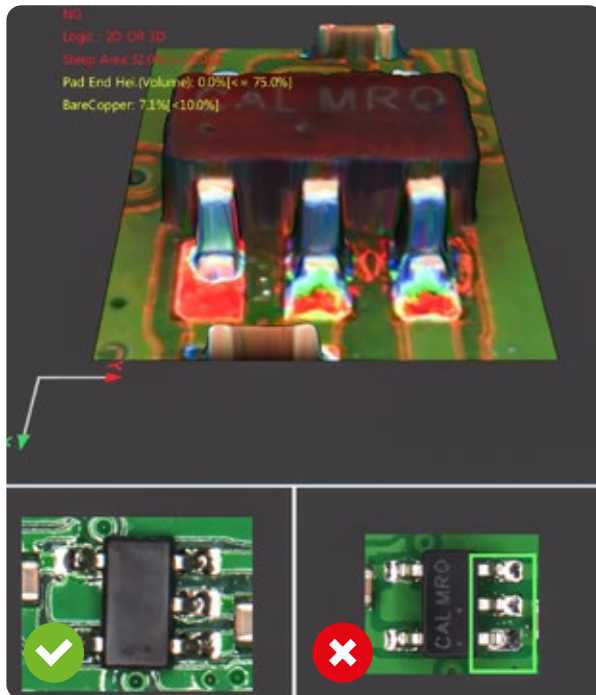
Перемычка между выводами

8. Foreign Material — поиск постороннего материала между выводами компонентов (проверка наличия бусинок припоя) и поиск постороннего материала рядом с выводами компонента (поиск слетевших компонентов и шариков припоя).



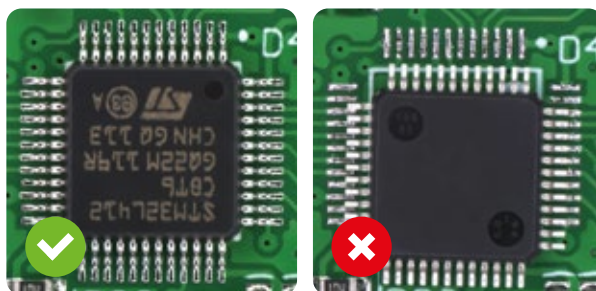
Бусинка припоя между выводами

9. Solder Filet — наличие паяного соединения и оценка качества соединения.



Паяное соединение не соответствует критериям качества

10. Upside Down — перевернутое положение (проверяет правильность ориентации компонента).



Перевернутый компонент

9.3 Статистика АОИ

Статистика АОИ — это анализ результатов сборки печатных плат.

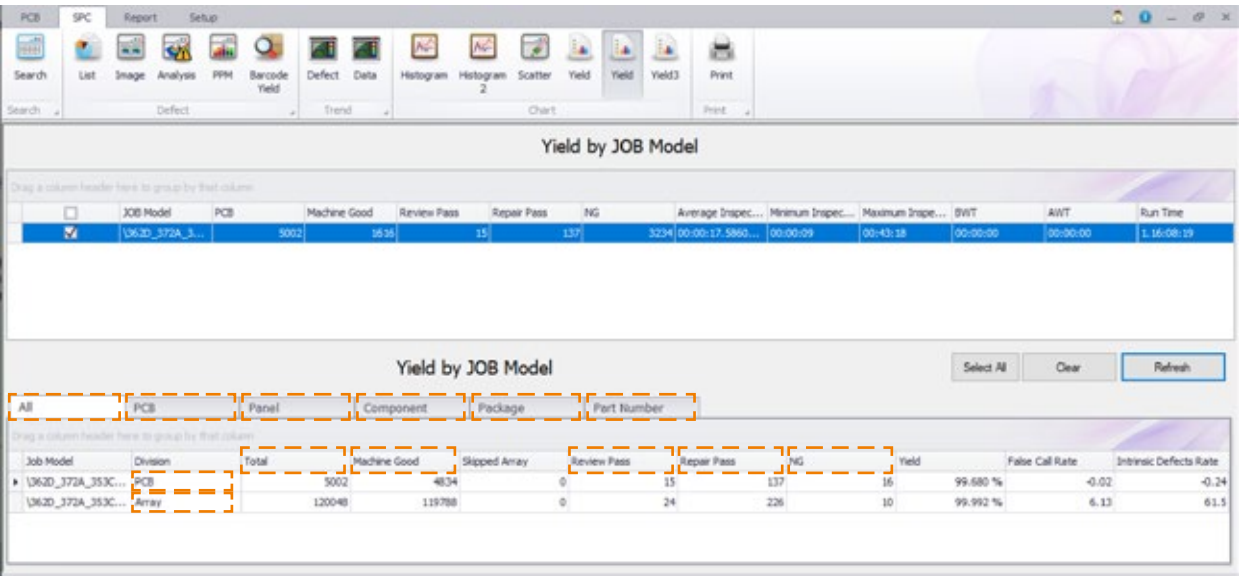
Статистика по результатам автоматической оптической инспекции необходима для:

- выявления повторяющихся (массовых) дефектов. Технолог выявляет коренные причины массовых дефектов и выполняет корректирующие действия, предотвращающие повторное появление дефекта при сборке изделия;
- оценки постоянства качества продукта.

Вкладки, используемые для составления статистики:

1. **Вкладка All.**
All — сводная информация о производстве изделий: количество мультизаготовок (PCB) и печатных узлов (Array), которые прошли инспекцию, и результат данной инспекции.

Пример статистики из программы SPC



- Столбец Total: количество заготовок/печатных узлов, прошедших автоматическую оптическую инспекцию.
 - Столбец Machine Good: количество заготовок/печатных узлов с результатом GOOD (не требующих доработки) по решению машины (без участия оператора).
 - Столбец Review Pass: количество заготовок / печатных узлов с результатом PASS (не требующих доработки) при пересмотре дефектов, которые были отправлены с линии.
 - Столбец Repair Pass: количество заготовок / печатных узлов, отремонтированных на монтажном участке.
 - Столбец NG: количество заготовок / печатных узлов, которые необходимо отремонтировать.
- Используя данную вкладку, можно вычислить общий процент годной продукции и продукции, требующей ремонта.

Пример расчета

Все расчеты ведутся, исходя из количества произведенных печатных узлов.

Процент годной продукции после оплавления: соотношение годной продукции к общему количеству произведенной продукции.

Процент дефектных печатных узлов:

$$((\text{Repair Pass} + \text{NG}) * 100) / \text{Total} = ((226 + 10) * 100) / 120048 = 0,2\%.$$

Процент годных печатных узлов:

$$100\% - 0,2\% = 99,8\%.$$

2. Вкладка PCB.

PCB — информация по каждой заготовке. Содержит следующую информацию: 2D-код печатной платы; время и дата инспекции; результат инспекции; оператор, проводивший инспекцию; результат пересмотра на станции Review; оператор, проводивший пересмотр; результат ремонта и монтажник, проводивший ремонт.

3. Вкладка Panel.

Array — подсчет единичных печатных плат с порядковым номером в заготовке, на которых были дефекты.

4. Вкладка Component.

Component — информация о дефектах применительно к компонентам. Для каждого компонента можно вычислить процент дефекта.

Процент дефекта для компонента (XS1):

$$((\text{Repair Pass} + \text{NG}) * 100) / \text{Total Count} = ((113 + 0) * 100) / 120048 = 0,1\%.$$

5. Вкладка Package.

Package — информация о дефектах применительно к корпусам (Chip, SOT, SOIC и т. д.).

6. Вкладка Part Number.

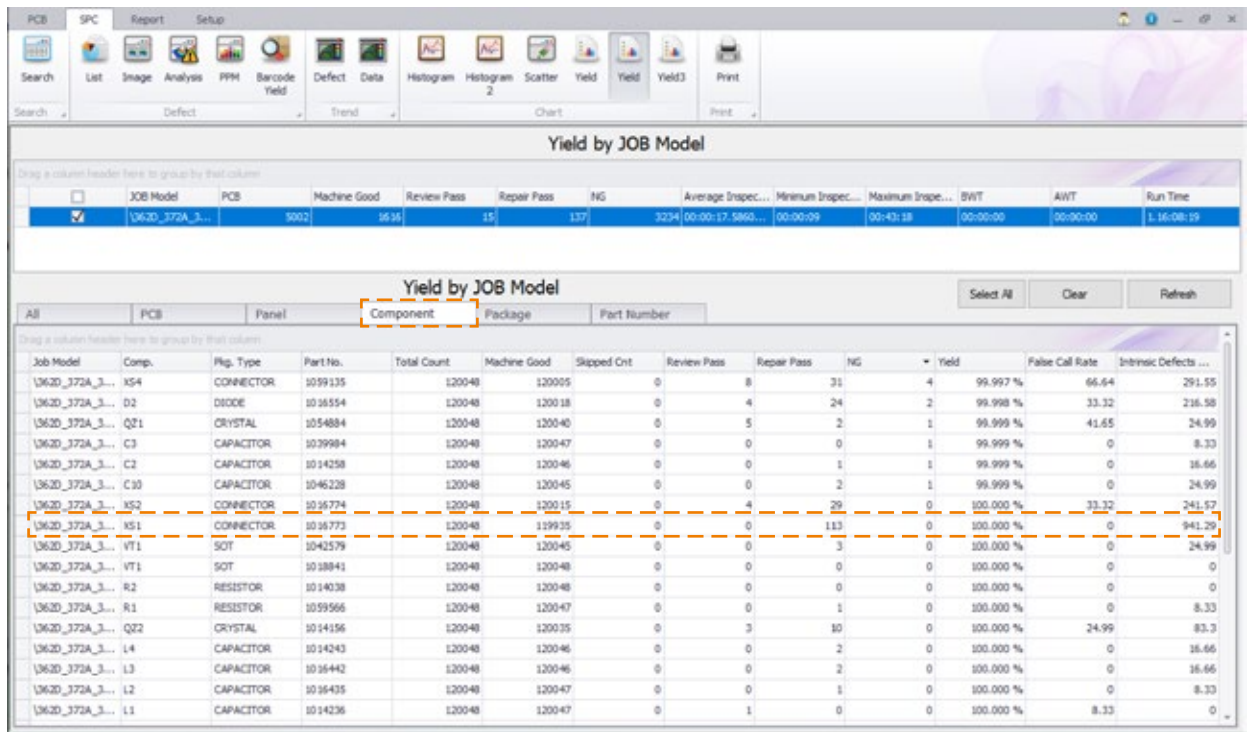
Part Number — информация о дефектах применительно к SAP-номеру (идентификатор каждого компонента).

В программе SPC доступна функция графического представления статистики:

- 1 Defect Pie Chart: процентное соотношение всех видов дефектов (выраженное в долях определенного дефекта).
- 2 Defect Top 5 Component: топ-5 компонентов, на которых чаще всего появлялись дефекты.
- 3 Top 5 Component per Defect: виды дефектов у Defect Top 5 Component — наименование и количество дефектов у каждого позиционного обозначения.
- 4 Top 5 Defect per Component: распределение компонентов по типу дефекта и частоте возникновения.

В SPC доступна функция просмотра изображения дефектов на конкретной печатной плате (привязка к 2D-коду).

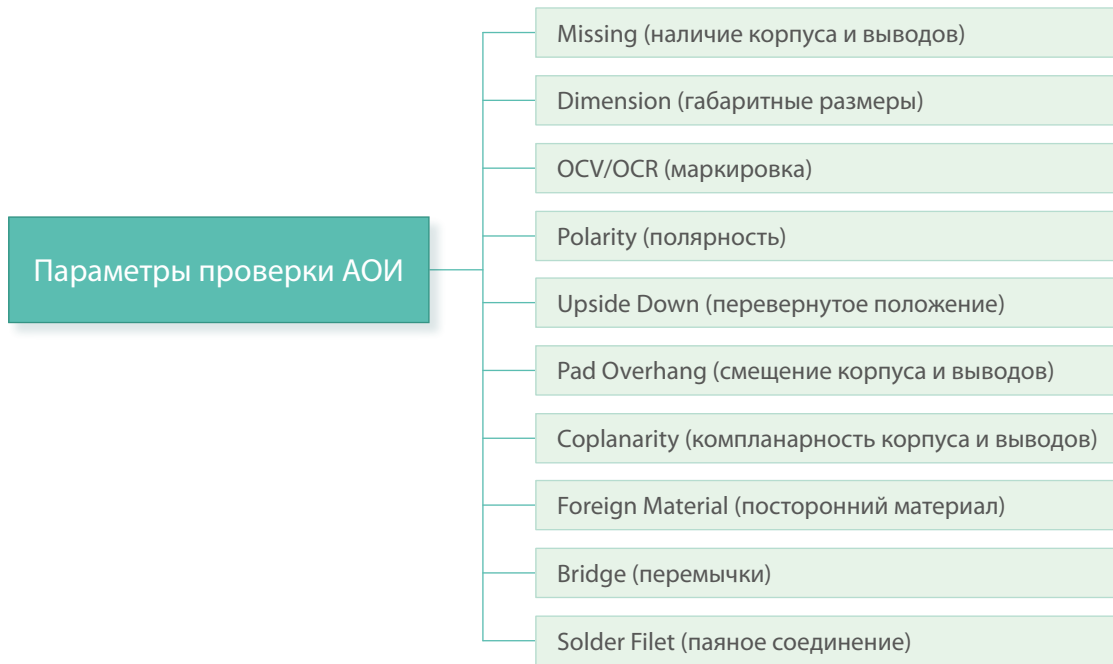
Компоненты, на которых был найден дефект

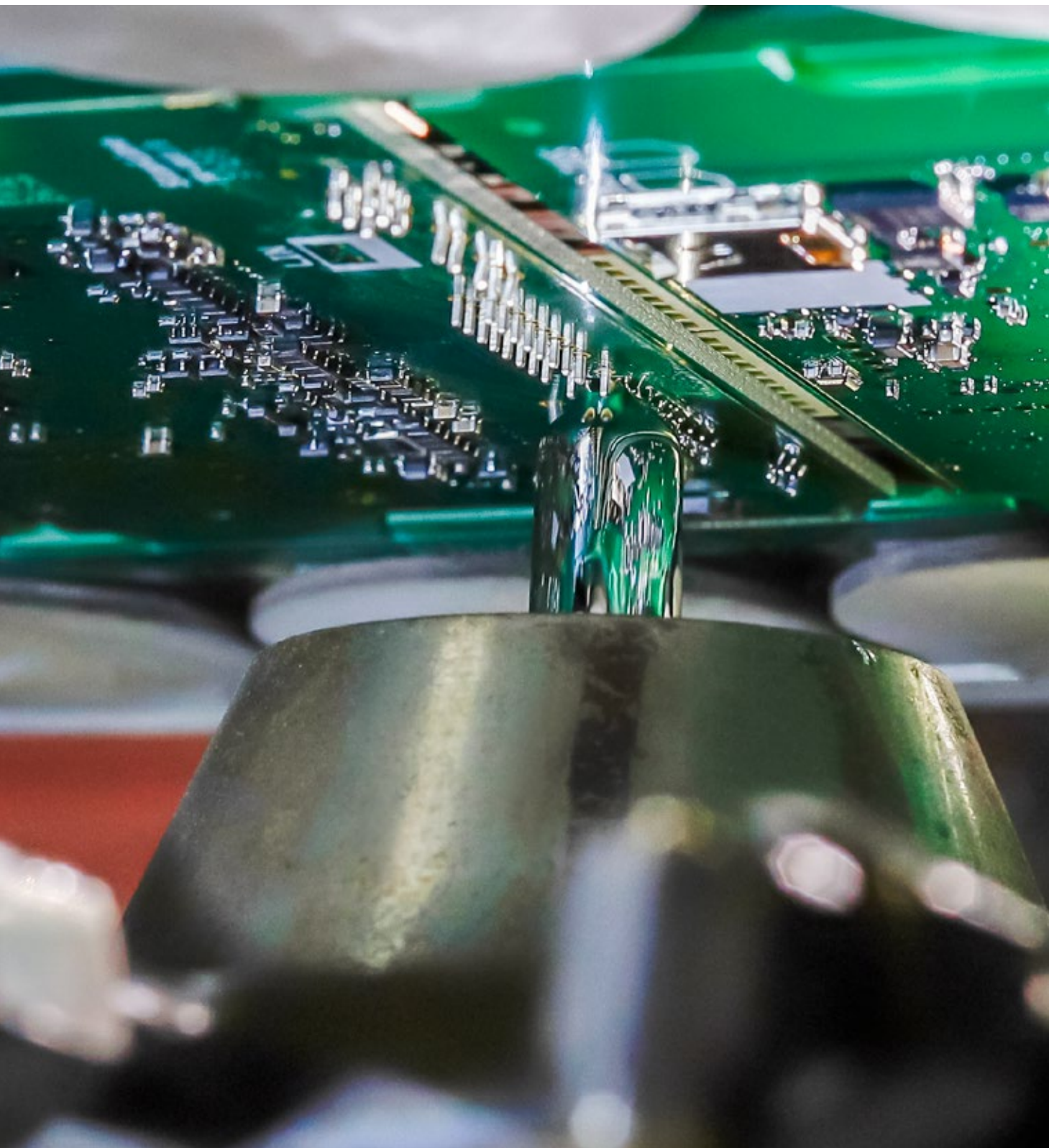


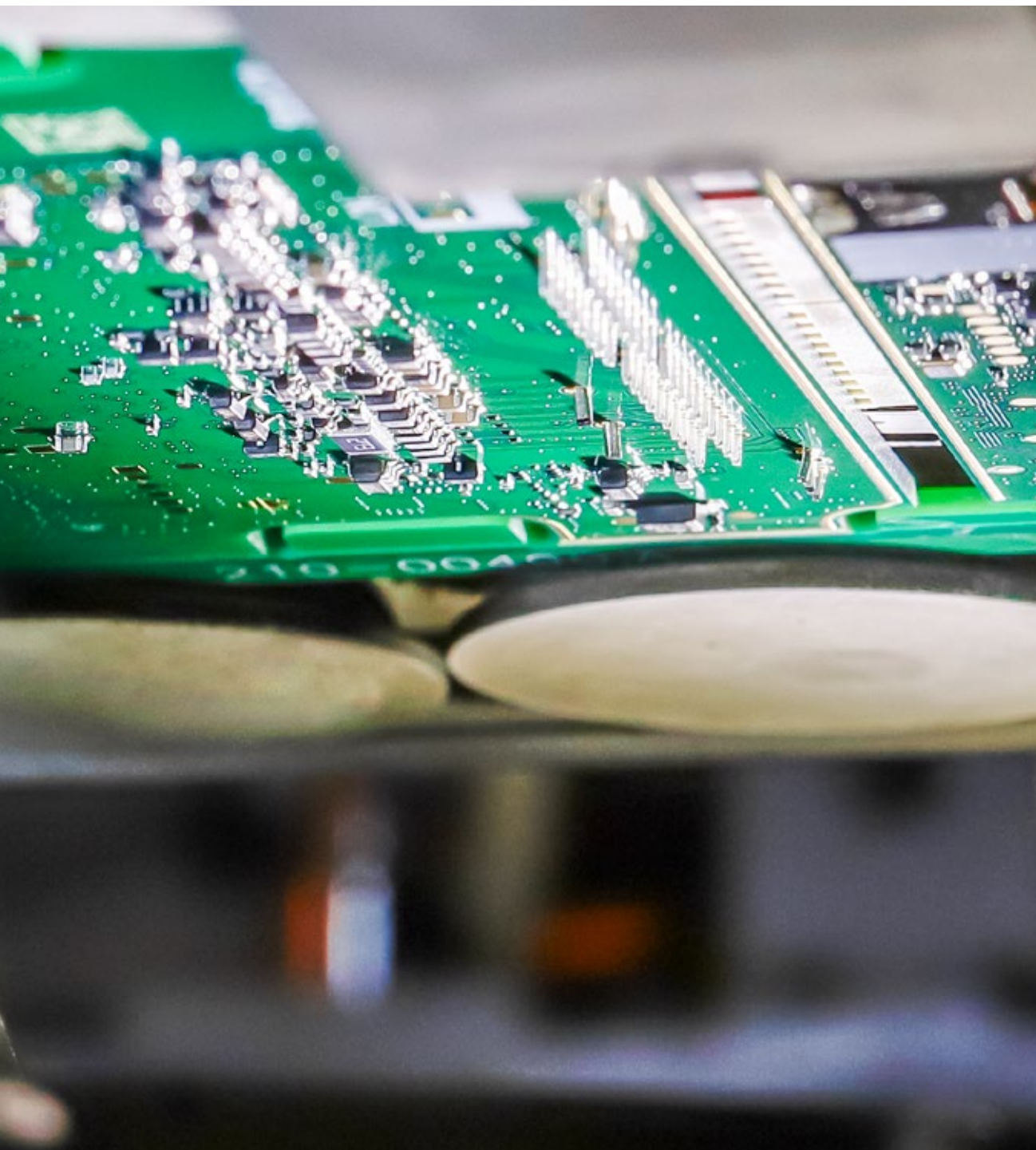
Графическая статистика



Автоматическая оптическая инспекция. Схема-памятка





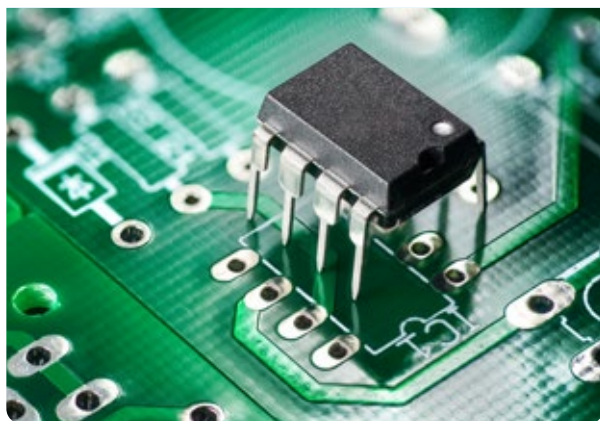


10

**Автоматизированный
выводной монтаж**

10.1 Понятие выводного монтажа и выводных компонентов

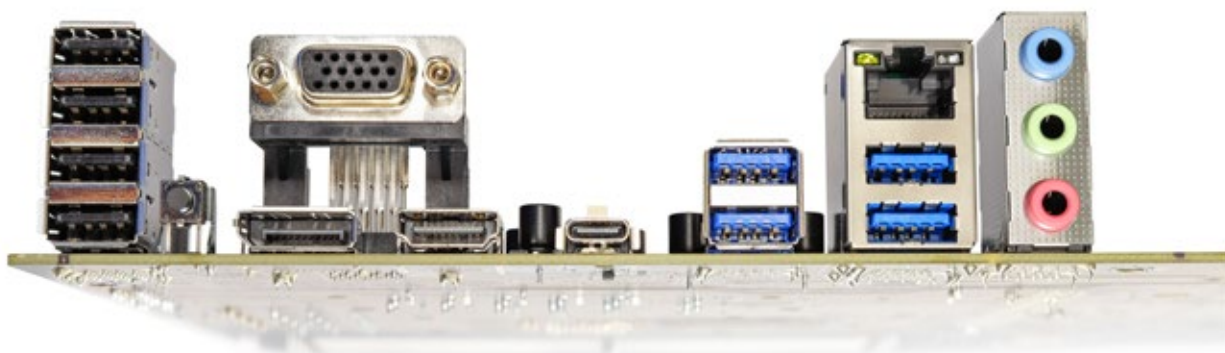
Выводной монтаж (Through-hole technology, THT) — это метод монтажа электронных компонентов на печатную плату, при котором выводы компонентов устанавливаются в монтажные (сквозные) отверстия платы и припаиваются к контактным поверхностям.



Выводной монтаж

Для THT-монтажа используются выводные компоненты. Выводные компоненты различаются по функциональному назначению, как и SMD-компоненты, то есть существуют выводные резисторы, конденсаторы, катушки, транзисторы и т. д. При этом выводные компоненты имеют габариты большего размера и выводы для пайки в монтажные отверстия.

Также к выводным компонентам относятся разъемы. Разъемы для печатных плат служат для соединения (создания единой электрической цепи между несколькими блоками) или подключения проводов и кабелей к печатным платам для обеспечения передачи сигналов, данных и питания. Например, к основному блоку компьютера при помощи разъемов подключаются мышь, клавиатура, монитор и другие устройства.



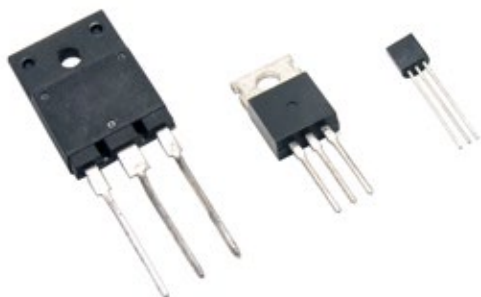
Пример выводного монтажа

Корпуса компонентов для технологии выводного монтажа можно подразделить на пять основных групп:

1. Компоненты в корпусах с однорядным расположением выводов.



Соединительный разъем



Транзисторы

2. Компоненты в корпусах с двухрядным расположением выводов.



Микросхема



Соединительный разъем

3. Компоненты в корпусах с осевыми (аксиальными) выводами.



Резистор



Диоды



Конденсатор

4. Компоненты в корпусах с радиальными выводами.



Светодиоды



Электролитический конденсатор



Варисторы

5. Компоненты сложной формы.



Гнездовой разъем USB (тип B)



Гнездовой разъем USB (тип A)



Гнездовой разъем HDMI

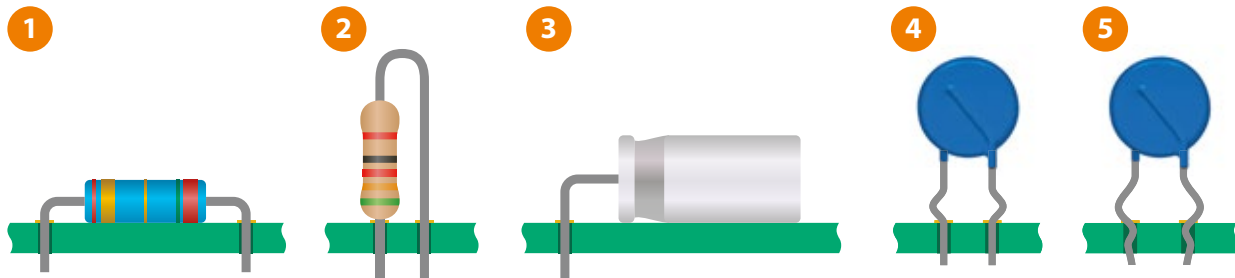
10.2 Формовка компонентов

При использовании технологии выводного монтажа одним из этапов является предварительная подготовка выводов компонентов — формовка и обрезка выводов с помощью специального оборудования.

Формовка — процесс изменения формы вывода компонента.

Основные виды формовки:

- 1 Формовка компонентов с осевыми (аксиальными) выводами для горизонтальной установки.
- 2 Формовка компонентов с осевыми (аксиальными) выводами для вертикальной установки.
- 3 Загиб радиальных выводов на 90°.
- 4 Опорный зиг.
- 5 Зиг-замок.



Основные виды формовки

Формовка выводов производится в соответствии с критериями, указанными в:

1. ГОСТ 29137–91 «Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования».
2. IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок».
3. Конструкторской документации.

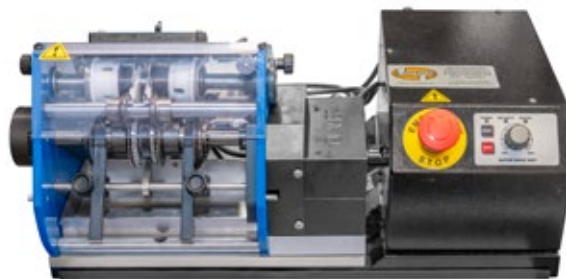
Формовка выводов необходима:

1. Для удержания компонента на печатной плате до и во время пайки.
2. Для установки компонента на определенную высоту от платы согласно конструкторской документации (для обеспечения минимального электрического зазора, теплоотвода, воздушной конвекции и т. д.).
3. Для уменьшения габаритных размеров печатного узла.

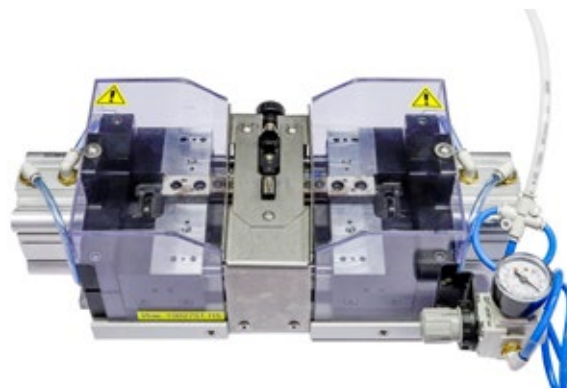
Способы формовки:

1. Ручная формовка — данный вид формовки выполняется оператором при помощи ручного инструмента. Отсутствует повторяемость и существует вероятность некорректной формовки.
2. Автоматическая формовка — данный вид формовки выполняется при помощи специализированного оборудования, которое обеспечивает повторяемость формы и длины вывода. На производствах НПО СтарЛайн используются автоматы для формовки CF-130 компании Ren Thang, MOT-98/A и TP/TS1 компании Olamef.

Для выполнения разных видов формовки используются специальные матрицы, которые устанавливаются в автомат и придают выводам требуемую форму и длину.



Автомат для формовки MOT-98/A



Автомат для формовки TP/TS1



Автомат для формовки CF-130

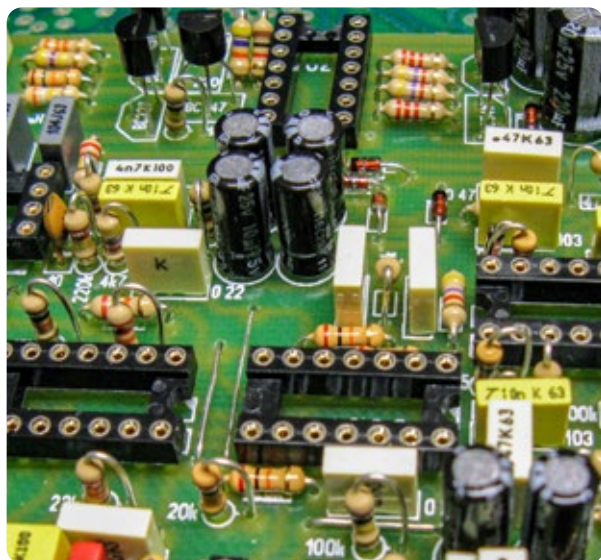


Способ установки компонентов (вплотную к печатной плате или с зазором), вид формовки и длина выводов описаны в конструкторской документации на изделие.

10.3 История возникновения автоматизированного выводного монтажа и его преимущества

Выводной монтаж лег в основу современных технологий производства электронных модулей. Одновременно с появлением печатных плат появился и выводной монтаж.

Первоначально пайка выводных компонентов осуществлялась при помощи ручного монтажа. Из-за низкой производительности и отсутствия повторяемости возникла необходимость разработать новую технологию.



Печатная плата с запаянными выводными компонентами

В связи с чем на смену технологии ручной пайки выводных компонентов (паяльником), в условиях массового производства, пришла

технология автоматизированной пайки волной и селективной (выборочной) пайки.

Технология волновой пайки была разработана в 1950-х годах в Великобритании. Первой появилась волновая пайка, так как монтаж плат был односторонним. В настоящее время пайка волной является наиболее распространенным и производительным методом пайки. При волновой пайке все выводы компонентов запаиваются за один проход платы над волной припоя.

С появлением SMD-компонентов, технологии двустороннего монтажа печатных плат и уменьшением количества выводных компонентов на печатной плате появилась селективная пайка, то есть выборочная пайка, которая запаивала только конкретные выводы штыревых компонентов, не задевая SMD-компоненты со стороны пайки.

На данный момент выводной монтаж все еще довольно часто используется при производстве электронных модулей, но, как правило, в комбинации с поверхностным монтажом, так как большинство выводных компонентов уже имеют аналоги в поверхностном исполнении.

Технология постепенно уступает место поверхностному монтажу, однако продолжает применяться в изделиях большой электрической мощности (силовая электроника, высоковольтные модули, источники питания) и при больших механических нагрузках (например, для монтажа крупных разъемов).

Преимущества селективной пайки:

1. Высокая производительность.
Например, пайка мультизаготовки StarLine ES96 на линии селективной пайки составляет 60 сек, а пайка на ручном монтаже занимает 90 мин. То есть линия селективной пайки в 90 раз производительнее, чем ручной монтаж.
2. Высокий уровень повторяемости процесса пайки.
При выполнении ручного монтажа существует высокий процент вариативности процесса, так как в пайке каждой точки участвует монтажник (человеческий фактор).
3. Автоматизированный процесс пайки (без участия оператора).
Автоматизированный процесс предполагает работу с минимальным участием человека, так как основные задачи выполняет оборудование. В случае с ручным монтажом — монтажник выполняет полный объем работ.
4. Равномерный прогрев печатной платы.
При выполнении ручного монтажа точка пайки испытывает температурный шок, так как температура платы 20–25 °С. При использовании автоматического монтажа плата проходит стадию преднагрева, в которой происходит поднятие и выравнивание температуры всей платы.
5. Возможность паять печатные платы с высокой плотностью монтажа.
При использовании волновой пайки существуют технические требования относительно расстояния между выводом штыревого компонента и ближайшим выводом или контактной площадкой другого компонента. Из-за этого накладываются ограничения на использование волновой пайки для плат с высокой плотностью монтажа.

Применение пайки волной позволяет достигать высокой повторяемости и производительности и является автоматизированным процессом.

В сравнении с линией селективной пайки пайка волной имеет следующие преимущества:

1. Поверхность соприкосновения с волной намного больше, чем у одиночного сопла. Как следствие, обеспечивается более эффективная передача тепловой энергии.
2. Установки пайки волной имеют несколько независимых зон преднагрева, поэтому возможен более эффективный прогрев плат за короткий промежуток времени.
3. Большая пропускная способность (плат в час). Например, пайка мультизаготовки StarLine ES96 на линии селективной пайки составляет 60 сек, а пайка на волновой линии занимает 10 сек. То есть пропускная способность линии волновой пайки в шесть раз выше, чем у линии селективной пайки.

10.4 Селективная пайка

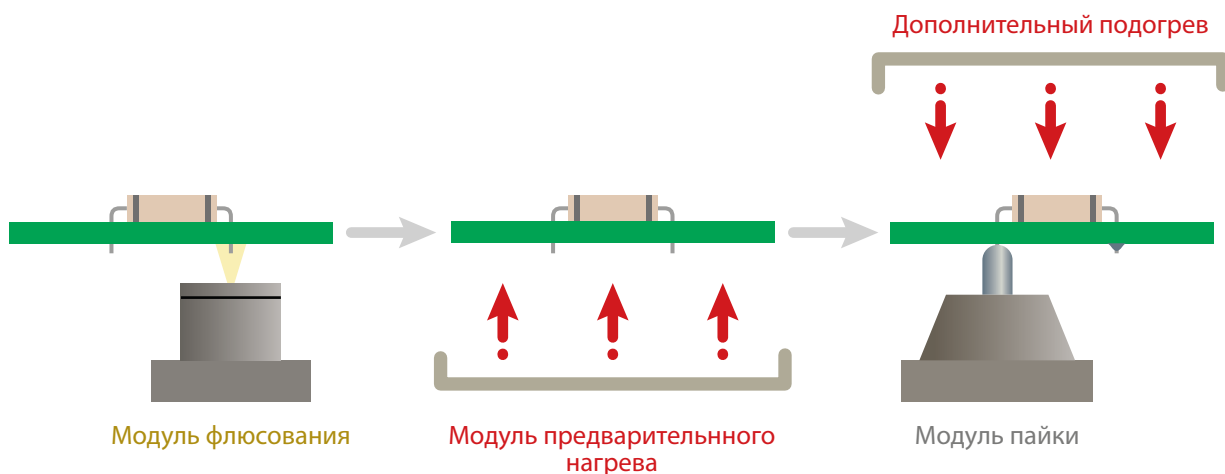
Селективная (выборочная) пайка — это автоматизированная выборочная пайка выводных (штыревых) компонентов.

Механика процесса селективной пайки:

1. Печатная плата покрывается флюсом в точках, указанных в управляющей программе.
2. Осуществляется предварительный нагрев платы для активации флюса (снятия окислов) и для избежания термоудара платы в процессе пайки.
3. Процесс пайки: расплавленный припой из плавильной ванны за счет давления и электромагнитов поднимается через специальную оснастку (нозл),

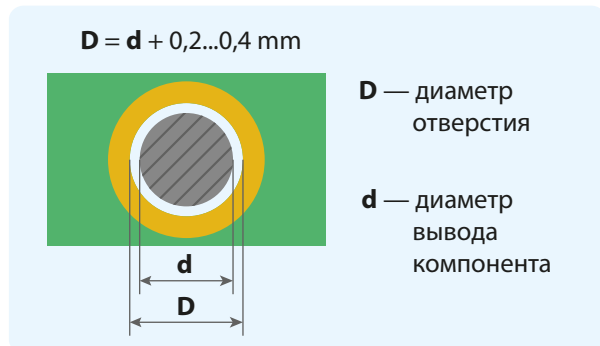
на конце нозла формируется волна припоя, образуя фигуру — полусфера. Нозл с волной припоя идет по траектории, указанной в управляющей программе. Волна касается выводов компонентов и контактных площадок, припой поднимается по металлизированным отверстиям за счет эффекта **капиллярного подъема**, благодаря которому достигается протекание припоя в металлизированные отверстия.

Эффект капиллярного подъема — процесс, при котором жидкость течет в узком пространстве (капилляре) за счет сил поверхностного натяжения и смачивания, без помощи и против силы гравитации.



Процесс селективной пайки

Правила проектирования металлизированных отверстий в печатной плате для осуществления капиллярного подъема жидкости: зазор между выводом компонента и отверстием должен составлять 0,2–0,4 мм.

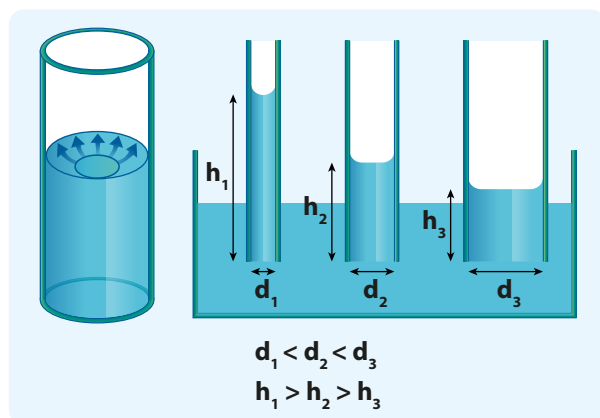


Правила проектирования металлизированного отверстия для осуществления капиллярного подъема жидкости

Как припой преодолевает силы гравитации?

Так же, как и вода в растениях. Вода поднимается вверх по капиллярным сосудам растения и доходит от корней к листьям и плодам.

Чем меньше диаметр капиллярного сосуда, тем выше уровень жидкости.



Эффект капиллярного подъема жидкости в зависимости от диаметра капилляра

За счет смачивания припоем стенок металлизированного отверстия, происходит подъем припоя вверх по выводу, заполнение отверстия и образование надежного паяного соединения.

10.4.1 Материалы

10.4.1.1 Припой

Припой для селективной пайки — это сплав металлов, который представлен в форме прутка или бруска.

На производствах НПО СтарЛайн используются припои для свинцовой и бессвинцовой технологий:

1. AIM Solid Wire Sn63/Pb37 Ø 3 мм.
2. Felder Sn63/Pb37 Ø 2 мм.
3. Balver Zinn SN100C — SnCu0,7Ni Ø 3 мм.
4. Elsold Sn99,3Cu0,7 MA-S Ø 3 мм.



Припой для селективной пайки

Для селективной пайки подбирается припой с минимальным количеством примесей. Чем больше примесей, тем больше **шлама** образуется в ваннах с припоем.

Шлам — это тонко измельченное сырье или отходы.

Шлам ухудшает качество припоя и загрязняет оборудование, из-за чего необходима регулярная очистка ванн с припоем. Очистка от шлама происходит каждый день перед запуском линии.

10.4.1.2 Флюс

Флюс выполняет три основные функции:

1. Удаление оксидной пленки, за счет чего обеспечивается смачиваемость припоем контактных поверхностей.
2. Эффективная передача тепловой энергии при пайке для быстрого и равномерного прогрева выводов.
3. Защита спаиваемых поверхностей от повторного окисления при воздействии высоких температур пайки.



Флюс для селективной пайки подбирается согласно требованиям оборудования.

Для большинства селективных линий подходят флюсы на спиртовой основе с содержанием твердых частиц до 5%, так как диаметр калиброванного отверстия в форсунке распылителя составляет несколько десятков микрон.

Флюсы на водной основе, которые используются на участке ручного монтажа, сложнее испаряются, загрязняют оборудование и пузырятся во время флюсования.

Флюсы для линии селективной пайки классифицируются по материалам основания и активности аналогично флюсу в составе паяльной пасты (см. параграф 3.1.2).

Флюс необходимо хранить при комнатной температуре в темном месте (отсутствует попадание солнечных лучей). Открытый контейнер с флюсом следует снова загерметизировать после вскрытия. Срок годности и условия хранения указаны в технической документации.

10.4.2 Линия селективной пайки

Рассмотрим оборудование, используемое на производствах НПО СтарЛайн.

1. Seho Select Line-C



Линия селективной пайки Seho Select Line-C

2. Линия селективной пайки ERSA VERSAFLOW 4/55



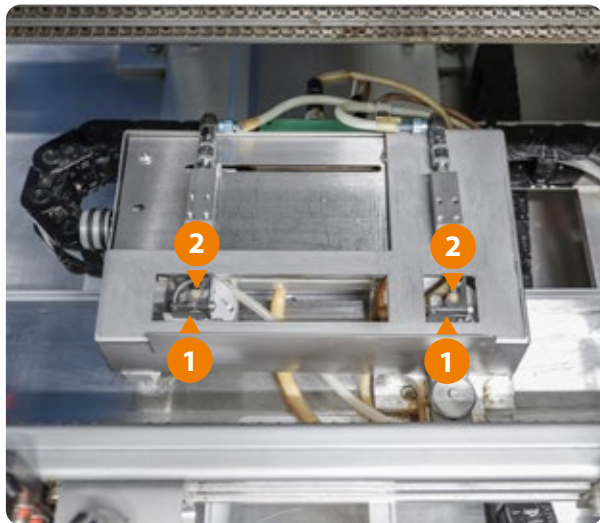
Линия селективной пайки ERSA VERSAFLOW 4/55

Для повышения производительности и оптимизации селективной пайки одного изделия используются две линии, установленные последовательно друг за другом (образуют единую линию, состоящую из двух машин).

Автоматизированная линия селективной пайки состоит из нескольких модулей:

1. Модуль флюсования:

- ❶ Голова флюсования.
- ❷ Форсунки.



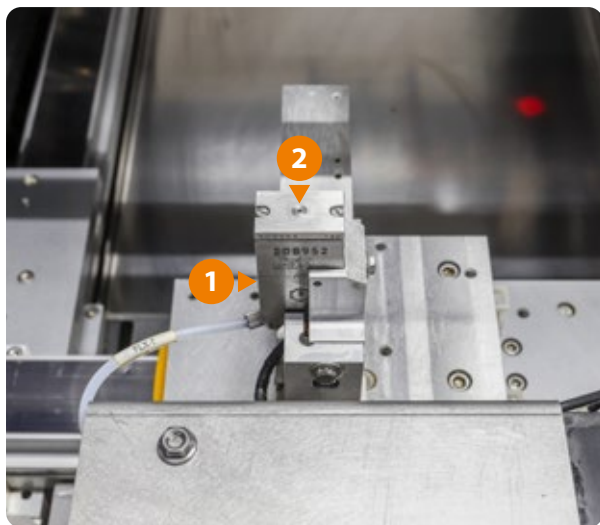
Модуль флюсования Seho Select Line-C

2. Модуль предварительного нагрева:

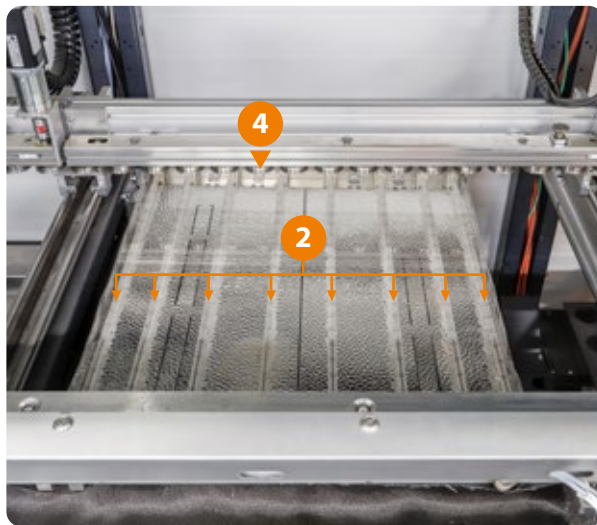
- ❶ Инфракрасный нагреватель.
- ❷ Кварцевый нагреватель.
- ❸ Пирометр.
- ❹ Конвейерная система.



Модуль предварительного нагрева Seho Select Line-C



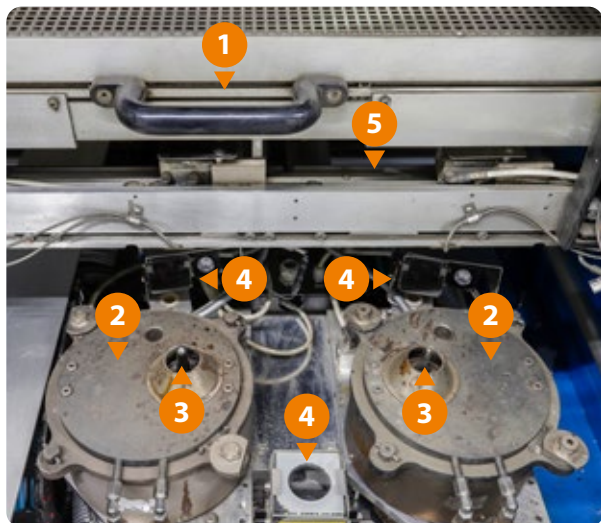
Модуль флюсования ERSA VERSAFLOW 4/55



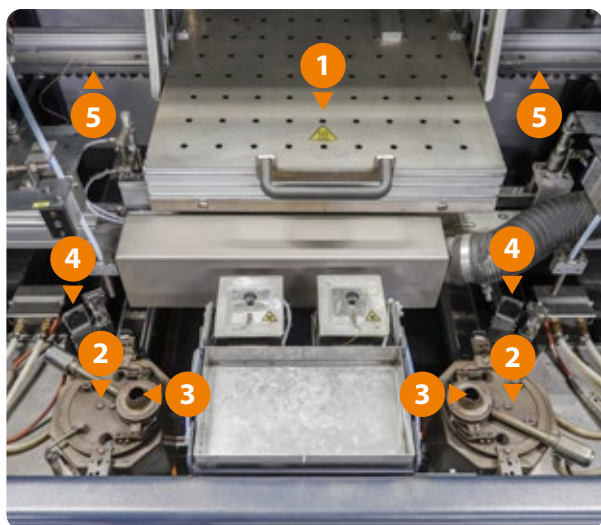
Модуль предварительного нагрева ERSA VERSAFLOW 4/55

3. Модуль пайки:

- 1 Инфракрасный подогрев.
- 2 Плавильные ванны.
- 3 Нозлы.
- 4 Оптические камеры.
- 5 Конвейерная система.



Модуль пайки Seho Select Line-C



Модуль пайки ERSA VERSAFLOW 4/55

- 6 Измерительная игла, определяющая высоту волны припоя.



Измерительная игла в Seho Select Line-C



Измерительная игла в ERSA VERSAFLOW 4/55

На оборудовании устанавливается несколько оптических камер:

- Две боковые камеры, направленные на нозл с волной припоя. Данные камеры позволяют наблюдать и контролировать процесс пайки в онлайн-режиме.
- В Seho установлена камера, отвечающая за систему координат машины.

Конвейерная система

В оборудовании Seho в модуле флюсования и преднагрева установлен цепной конвейер, а в модуле пайки — дисковый конвейер. В машине Ersa во всех модулях дисковый конвейер.

Параметры конвейерной системы:

- **Скорость конвейера.** Регулировка скорости конвейера используется для того, чтобы печатная плата безопасно перемещалась между конвейерами (Seho). Также в процессе транспортировки компоненты должны оставаться в посадочных местах (металлизированных отверстиях), должно отсутствовать смещение и подъем компонентов в процессе движения.
- **Ширина конвейера.** Ширина настраивается в управляющей программе на линии.
- **Прижимы платы.** Фиксируют печатную плату с двух сторон для предотвращения смещения или изгибания платы в процессе пайки.
- **Стопоры,** отвечающие за остановку печатной платы в определенном модуле. Настройка стопоров осуществляется в ручном режиме — настраивается скорость подъема и опускания.

У селективных линий Seho и Ersa есть несколько режимов работы, давайте подробнее разберемся в них.

Режимы работы Seho:

Ванны с припоем в Seho установлены на одной станине, поэтому двигаться могут только параллельно друг другу по оси X с заданным расстоянием между друг другом.

1. **Twin-Select.** Пайка одной платы каждым нозлом по очереди (программируются полностью независимо).
Использование данного модуля также позволяет использовать два разных припоя для пайки (например, свинцовый и бессвинцовый) с нулевым временем переналадки. В таком случае пайка идет с использованием одного нозла.
2. **Synchro concept.** Одна и та же программа пайки используется на двух нозлах одновременно по замкнутому циклу. Пока одна

плата паяется первым нозлом, вторая плата по конвейеру перемещается за первой платой. После этого оба нозла работают параллельно. Как только первая плата спаяна, она извлекается из установки и освобождает место для следующей платы. Пайка на втором нозле начинается с точки останова первого. Программа пайки запоминает позицию, где произошла остановка, и автоматически продолжает процесс со следующей точки.

Режимы работы Ersa:

Ванны с припоем в Ersa установлены на отдельных осях, поэтому могут двигаться независимо друг от друга по осям X и Y. Машина выполняет оптимизацию программы, чтобы ванны не столкнулись друг с другом.

1. Одновременная асинхронная пайка двумя нозлами одной платы — один нозл паяет определенные выводы (задается в управляющей программе) одновременно с другим нозлом, который паяет другие выводы. Одновременная пайка по оси X и Y с использованием двух ванн.
2. Пайка одним модулем, как в режиме Twin-Select в Seho.

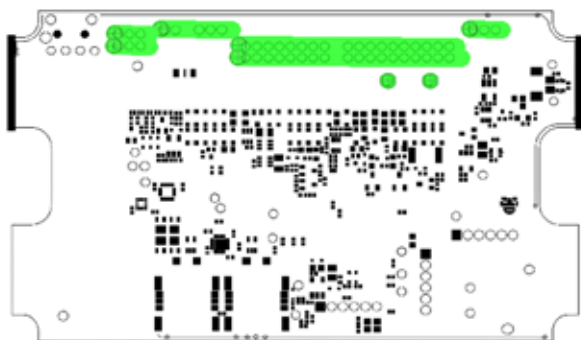
10.4.2.1 Модуль флюсования

Модуль флюсования состоит из каплеструйного флюсователя, который наносит флюс на паяемые поверхности. Каплеструйный флюсователь позволяет избежать загрязнения соседних компонентов и уменьшить расход флюса.

В конструкции Seho предусмотрено две головы флюсования, каждая голова флюсования может быть укомплектована набором из трех форсунок.

В конструкции Ersa предусмотрена одна голова флюсования с одной насадкой.

Флюсование выполняется селективно (выборочно), как и пайка. Траектория движения модуля флюсования прописывается в управляющей программе.



Траектория флюсования в программе машины Seho (выделено зеленым цветом)

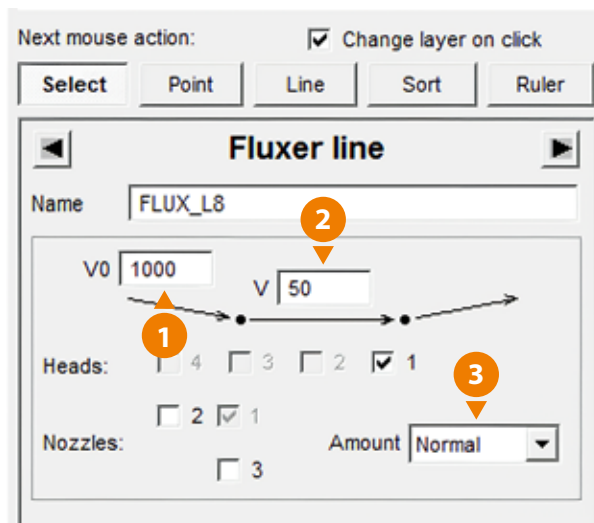
Параметры флюсования в машине Seho:

- 1 Скорость подхода насадки флюсователя к каждой траектории флюсования (скорость насадки флюсователя при движении от одной линии флюсования к другой), мм/с.
Базовая скорость — **1000 мм/с**.
- 2 Скорость флюсования (скорость прохода насадки с флюсом по линии флюсования), мм/с.
Базовая скорость — **50 мм/с** при нормальном уровне подачи флюса (см. пункт ниже). Чем выше скорость флюсования, тем меньше флюса наносится на выводы, контактные площадки и металлизированное отверстие, и, соответственно, наоборот.
- 3 Уровень подаваемого флюса (мощность напора) — количество воздуха, проходящего через форсунку флюсователя, за счет которого регулируется высота распыления (объем подаваемого флюса не изменяется).

Существующие уровни:

- **Высокий** — флюс через металлизированные отверстия заливается на сторону установки компонента (необходимо в случае недостаточного протекания и окисленных выводов компонента).
- **Нормальный** — базовый режим.
- **Низкий** — используется в случае, если

для качественного флюсования необходимо многократное флюсование одной точки (в случае большого диаметра металлизированного отверстия если вывод компонента нестандартной формы).



Параметры флюсования в машине Seho

10.4.2.2 Модуль предварительного нагрева

Предварительный нагрев необходим для:

1. Активации составляющих флюса (снятия окислов с контактных площадок, металлизированных отверстий и выводов компонентов).
2. Равномерного нагрева печатной платы.
3. Избежания термоудара печатной платы и компонентов в процессе пайки.

Предварительный нагрев печатной платы в Seho осуществляется с помощью:

1. Кварцевых ламп (нижний подогрев). Базовая мощность кварца **95%**.
2. Инфракрасных ламп (верхний подогрев). Базовая температура инфракрасной лампы составляет **190 °C**.

В линии Ersa предварительный нагрев осуществ-

вляется с помощью нижнего подогрева — кварцевых ламп (мощность **95%**).

Температура печатной платы в зоне предварительного нагрева зависит от флюса, который используется на линии селективной пайки.

Например, согласно технической документации на флюс AIM FX16, температура активации составляет 80–140 °С.

С помощью секундомера (с использованием печатной платы с установленными выводными компонентами) измеряется время, за которое плата прогреется до температуры активации флюса. Время предварительного нагрева зависит от теплоемкости платы и компонентов.

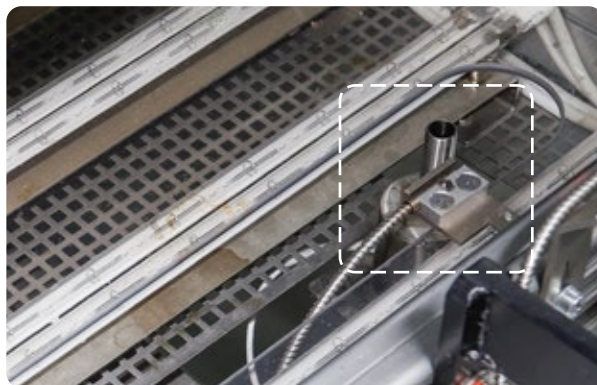
Температура платы в зоне преднагрева измеряется при помощи **пирометра**. В оборудовании Seho используется стационарный пирометр, в линии Ersa температура измеряется при помощи ручного пирометра или при помощи термопрофилирования.

Пирометр — это прибор, который бесконтактно производит измерение температуры.



Ручной пирометр

В машинах Seho пирометр должен быть направлен на поверхность печатной платы. Если пирометр будет направлен вне поверхности платы (например, на участок фрезеровки между печатными узлами), то будут получены ложные данные.



Стационарный пирометр в машине Seho

10.4.2.3 Модуль пайки

10.4.2.3.1 Нозлы

Нозл (сопло) — это насадка для направления расплавленного припоя, поднимающегося из ванны.



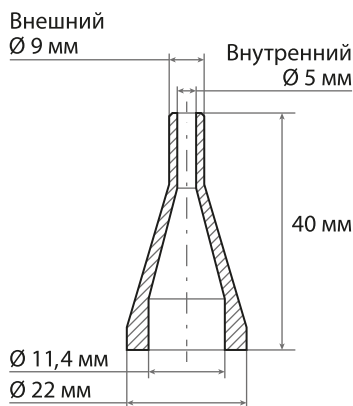
Нозлы для селективной пайки



Волна припоя на поверхности нозла

На поверхности нозла расплавленный припой формирует волну (полусферу) припоя. Волна касается выводов компонентов и контактных площадок, припой поднимается по металлизированным отверстиям.

Нозлы отличаются между собой по типоразмеру — внешнему и внутреннему диаметру.



Пример типоразмера нозла 5/9

Типоразмер нозла	Внутренний диаметр, мм	Внешний диаметр, мм
2,6/4	2,6	4
2,6/5	2,6	5
3/6	3	6
4/8	4	8
5/9	5	9
6/10	6	10
7/11	7	11
8/12	8	12
9/13	9	13
10/14	10	14
12/16	12	16
14/18	14	18
15/19	15	19
16/20	16	20
22/26	22	26

Диаметр нозлов выбирается по следующим критериям:

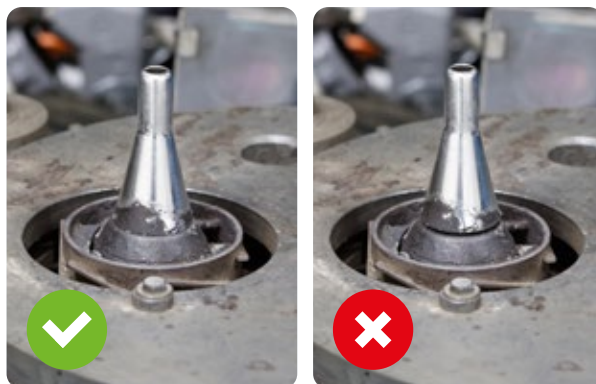
1. Расстояние между пинами (выводами) компонента.
2. Необходимое количество проходов нозла.
3. Пины разъема должны входить во внутренний диаметр нозла для качественной пайки.
4. Направление движения нозла (сторона подхода к компоненту).
5. Наличие SMD-компонентов рядом с выводами, требующими пайки.

Правила установки нозлов:

1. **Нозлы должны быть установлены вплотную к посадочному месту волнообразователя.**

Посадочное место для установки нозла намагничено, это необходимо для удержания нозла в посадочном месте.

Перед установкой нозла необходимо очистить площадку установки вокруг нозла, проверить основание нозла на отсутствие сколов, повреждений или загрязнений, а затем верно установить нозл.



Установка нозлов на посадочное место волнообразователя вплотную (фото слева) и с зазором (фото справа)

Если установить нозлы не вплотную к посадочному месту, то между нозлом и основанием образуется отверстие, через кото-

рое будет вытекать припой. Из-за этого уменьшится высота волны и уменьшится расстояние между нозлом и платой (из-за приподнятого положения нозла). Данные изменения приведут к дефектам пайки (непротекание, выбивание компонента из монтажного отверстия и т. д.).

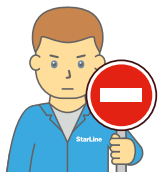
2. Для выполнения качественной пайки необходимо установить конусы обдува нозлов с целью создания азотной среды (азот подается из ванны с припоем)

Конусы обдува различаются по диаметру. Начиная с нозла 8/12 устанавливается большой диаметр конуса.



Конусы обдува

Неправильно подобранный размер конуса обдува приводит к тому, что во время ультразвуковой чистки нозлов в процессе работы, неверно подобранный конус обдува застрянет в защитном кожухе очищающего модуля.



Если не установить конусы обдува, то будет нарушена азотная среда, вытекающий припой окислится молекулами кислорода, и нозл покроется оксидной пленкой, что приведет к возникновению дефектов пайки.



Вытекающий припой окислен молекулами кислорода

На линиях селективной пайки подключена функция автоматической очистки нозлов, так как загрязненные нозлы влияют на качество паяного соединения.

Виды очистки нозлов:

1. На установке Seho очистка происходит при помощи ультразвука.
2. На установке Ersa — при помощи твердых частиц антиоксиданта.

Стенки нозла покрыты равномерным слоем нескольких сплавов. Это необходимо для того, чтобы припой из ванны не припаивался к нозлу, а плавно и стабильно стекал в ванну.

Срок службы покрытия нозла составляет два месяца. После окончания срока службы нозл подвергается механической очистке и покрывается химическим никелем (9 мкм) и оловом (9 мкм).

Нозлы не подлежат использованию в случаях:

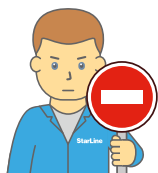
1. Загрязнения.
2. Деформации.
3. Наличия участков с поврежденным защитным покрытием.
4. Наличия наплывов, наростов или сколов.



Нозлы с поврежденным защитным покрытием



Нозлы с наростами застывшего припоя



Помимо внешних повреждений, если нозл снимается с ванны с большим усилием, то запрещается дальнейшее использование нозла, так как повреждается его основание. Использование деформированных нозлов может привести к повреждению посадочного места ванны, разбрызгиванию припоя и пайке с дефектами.

10.4.2.3.2 Высота волны

Для выполнения качественной пайки на ТНТ-линии требуется вычислить необходимую высоту волны припоя для выбранного нозла.

Высота волны зависит от:

1. **Максимальной длины выводов**, которые будут паяться выбранным нозлом.
2. Безопасного расстояния от нозла до вывода в процессе пайки, которое составляет **0,2 мм**.
3. Толщины платы — кончик волны припоя должен доходить **до половины толщины печатной платы**, чтобы выполнялся эффект капиллярного подъема припоя по металлизированным отверстиям.

Например, максимальная длина выводов **1,5 мм**, толщина платы **1,6 мм**.

Высота волны = $1,5 + 0,2 + 1,6/2 = 2,5$ мм.

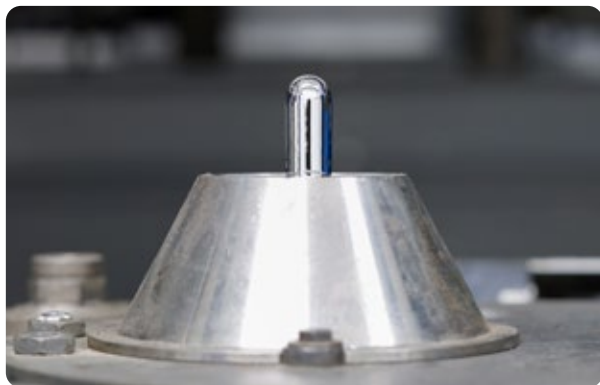
После расчета высоты волны необходимо настроить мощность помпы. Данная операция происходит при помощи измерительной иглы. Нозл подъезжает к измерительной игле на расстояние, равное рассчитанной высоте волны. Машина увеличивает мощность помпы до момента касания конуса волны с кончиком иглы.



Касание измерительной иглы и волны припоя в оборудовании Ersi

Автоматически фиксируется мощность помпы, требуемая для выбранного нозла с заданной высотой волны.

После фиксации мощности помпы в программе, необходимо визуально оценить форму волны припоя. Волна припоя должна образовывать стабильную полусферу, а припой — течь ровно, без всплесков.



Волна припоя образует полусферу



Чем больше диаметр насадки, тем меньше высота волны. При работе с нозлами большого диаметра (более 18 мм) видимой полусферы волны не образуется, но при этом волна стабильна, без всплесков.



Правильно настроенная мощность помпы для нозлов с диаметром больше 18 мм

10.4.2.3 Процесс пайки

Селективная пайка выводных компонентов происходит в азотной среде: азот подается в ванну с припоем, а далее через конусы обдува попадает на нозлы и стекающий припой.

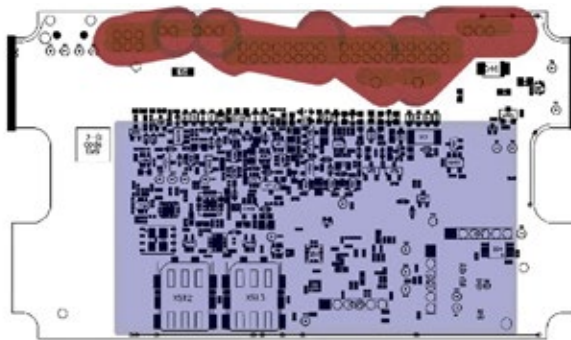
Азот необходим для уменьшения окисления поверхностей во время пайки и уменьшения количества шлама. В оборудовании Seho азот подается при комнатной температуре, а в Ersa азот подогревается перед подачей в ванну с припоем.

На линиях селективной пайки Ersa и Seho в зоне пайки сверху установлен дополнительный подогрев инфракрасными лампами (**100 °C** для свинцовой технологии, **120 °C** для бессвинцовой). Подогрев необходим для поддержания температуры печатной платы.

Температура пайки для свинцовых сплавов выставляется в диапазоне **260–300 °C**, а для бессвинцовых — **280–320 °C**. Существует коэффициент теплотерьер на нозл, теплоемкость платы и компонентов, а также на окружающую среду. Фактическая температура припоя в верхней точке волны на 10–30 °C меньше, чем указано в программе.

Проверка объема припоя в ванне происходит в автоматическом режиме. В процессе пайки через определенное количество плат (задается программно) запускается проверка высоты волны с помощью измерительной иглы. Если высота волны не соответствует заданной в программе (не произошел контакт кончика иглы и конуса волны), то машина увеличивает мощность помпы, чтобы добиться требуемой высоты. В случае, если машина достигает максимальных оборотов, и требуемая высота не достигается, машина подает проток припоя в ванну, тем самым поднимая уровень припоя в ванне.

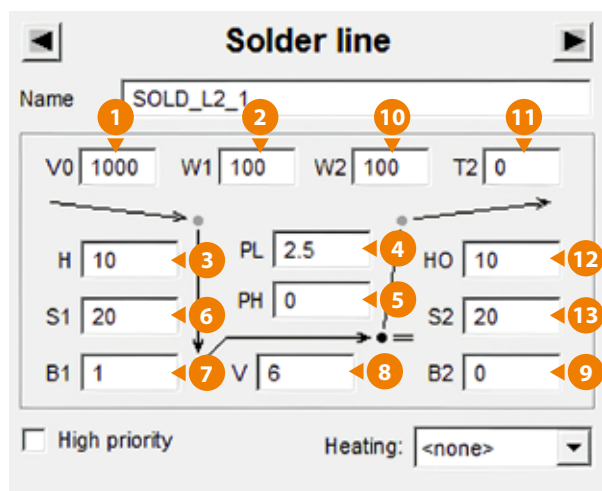
В управляющей программе задается маршрут движения нозла с волной припоя — траектория и сторона подхода нозла к выводам компонента. Траектории могут быть не только линейными, но и образовывать ломаную кривую.



Траектория движения нозла в программе Seho (выделена коричневым цветом)

Правило выбора очередности траекторий пайки:

1. Пайка начинается со сложных по форме выводов и теплоемких компонентов (после предварительного нагрева плата и компоненты начинают остывать, для наиболее теплоемких компонентов нужно проводить пайку в первую очередь).
2. Первой точкой на линии пайки должны быть выводы, находящиеся на земляном полигоне (земляные полигоны состоят из меди и перетягивают на себя тепло от компонентов и площадок, поэтому необходимо паять их в первую очередь).



Параметры селективной пайки в машине Seho

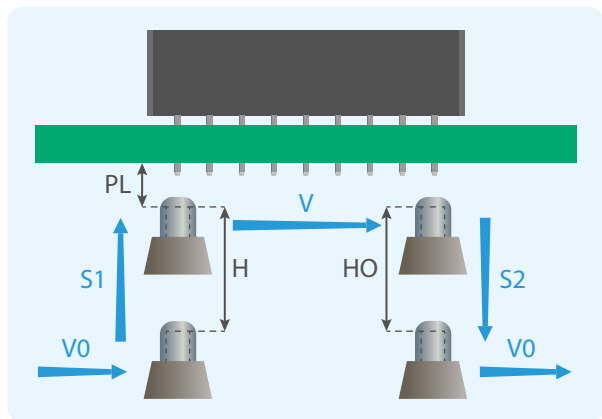


Схема движения нозла в процессе селективной пайки

Параметры селективной пайки в Seho:

1. Скорость нозла при его переходе от одной линии пайки к другой, мм/с. Скорость выбирается максимальной — для сокращения времени стадии пайки.
Базовая скорость — **1000 мм/с**.
2. Мощность помпы в процессе пайки от заданной мощности в программе, %. Заданной является мощность помпы, выставленная при отладке высоты волны припоя, данное значение принимается за 100%.

Мощность волны более 100% может быть задана, если:

- нозл физически не может подойти ближе к выводу из-за его высоты;
- у выводов сложная форма.

При изменении мощности необходимо визуально контролировать стабильность и устойчивость конуса волны.

Допустимо повышение до 120%.

3. Высота, на которой перемещается нозл перед подходом к траектории пайки, мм. Стандартно задается **10 мм**, но необходимо провести замер высоты компонентов, установленных со стороны пайки, чтобы нозл их не задевал.
4. Расстояние от нозла до платы во время пайки, мм. Стандартно рассчитывается исходя из высоты выводов компонента **+ 0,2 мм**.
5. На сколько миллиметров необходимо поднять нозл в первой точке траектории пайки от значения, указанного в пункте 4, мм.

Эта функция необходима, если:

- первый вывод на траектории находится на земляном полигоне и не защищен термобарьером;
- у данного места большая теплоемкость, и необходимо поднять нозл, чтобы добиться требуемого протекания.

В случае поднятия нозла необходимо контролировать, чтобы нозл не касался вывода компонента, иначе компонент приподнимется. Также необходимо

контролировать волну припоя — не допускать переливов припоя (припой заливается через металлизированные отверстия на сторону установки выводных компонентов).

- 6 Скорость поднятия нозла к началу траектории пайки, мм/с.

Стандартное значение: **20 мм/с.**

- 7 Задержка нозла в начале траектории пайки, с.

Время, в течение которого нозл паяет первую точку траектории, а затем продолжает пайку с установленной скоростью.

Необходимо в случае недостаточного протекания из-за теплоемкости платы (земляные полигоны) или теплоемкости компонента.

- 8 Скорость пайки, мм/с.

Стандартно выбирается **6 мм/с.** Далее оценивается заполняемость металлизированных отверстий:

- Уменьшение скорости ведет к увеличению протекания.
- Увеличение скорости ведет к уменьшению времени пайки.

Прибавление или уменьшение скорости идет с интервалом 1 мм/с.

- 9 Задержка нозла в конце траектории пайки, с.

Время, в течение которого нозл продолжит паять над крайней точкой траектории.

Необходимо в случае недостаточного протекания из-за теплоемкости платы (земляные полигоны) или теплоемкости компонента.

- 10 Процентное соотношение высоты волны (мощности) от заданной мощности в конечной точке траектории пайки, %.

Мощность менее 100% (уменьшение высоты волны) необходима, если образуются перемычки в конце траектории пайки. Допустимо понижение **до 80%.**

- 11 Время, за которое произойдет понижение мощности волны (уменьшение высоты волны) в конечной точке траектории до значения, указанного в пункте 10, с.

- 12 Высота, на которую уходит нозл после окончания пайки траектории, мм.

На заданной высоте нозл будет перемещаться между траекториями пайки. Стандартно задается **10 мм**, но необходимо провести замер высоты компонентов, установленных со стороны пайки, чтобы нозл их не задевал.

- 13 Скорость опускания нозла после окончания пайки до высоты, указанной в пункте 12, мм/с.

Регулировка скорости опускания нозла:

- Увеличение скорости позволяет избежать таких дефектов, как перемычки и сосульки припоя.
- Уменьшение скорости позволяет избежать таких дефектов, как перемычки и недостаточное смачивание контактных площадок и вывода компонента (галтель не соответствует требованиям качества).

В управляющей программе есть функция защиты высоких компонентов со стороны пайки от нозла — нозл отъезжает на заданное расстояние от платы в указанном месте, чтобы не повредить высокие SMD- или ТНТ-компоненты со стороны пайки.

В машине Seho в зоне пайки может быть установлен дополнительный модуль корректировки расстояния от нозла до точки прогиба платы из-за ее возможной деформации — лазерный уровень. Под весом компонентов печатная плата деформируется, лазерный уровень измеряет изгиб каждой платы в нескольких точках и подстраивает высоту нозла при подходе к точкам прогиба.

В машинах Ersa корректировка высоты нозла при деформации платы происходит следующим образом: технолог вносит данные о координате и высоте изгиба в управляющую программу (замеры происходят в ручном режиме), машина подстраивается под эти данные и меняет в точках изгиба высоту нозла.

10.4.2.4 Оснастки

Оснастка — это дополнительный инструмент, используемый при селективной пайке выводных компонентов.

Оснастки используются:

1. Если плата под весом выводных компонентов или из-за теплового расширения начинает деформироваться (нарушение компланарности), в таком случае нозл с волной припоя будет подходить на разной высоте к каждому выводу и появятся дефекты пайки (поднятие компонента, перемычки, недостаточно припоя, повреждение компонента). В этом случае необходимо использовать оснастки, предотвращающие деформацию печатной платы.



Оснастка для предотвращения деформации печатной платы в процессе пайки

2. Для фиксации выводных компонентов в металлизированных отверстиях до и во время пайки. Поток волны выбивает легкие компоненты из отверстий, вследствие этого необходимо зафиксировать их со стороны установки. Оснастка необходима, так как компоненты могут неплотно фиксироваться в отверстиях или если необходимо выполнить требования конструкторской документации по высоте установки.



Оснастка для фиксации выводных компонентов в металлизированных отверстиях

3. В случае близкого расположения выводных компонентов к краю печатной платы или в случае отсутствия технологических полей, то есть плата с выводными компонентами не может быть физически установлена на конвейер.

Нозл с волной припоя не может подойти близко к конвейеру, безопасное расстояние подхода нозла — 5 мм от конвейера. В данных случаях изготавливается оснастка, которая увеличивает габаритные размеры платы (технологические поля).



Оснастка для увеличения технологических полей платы

4. Для мультиплицирования печатных плат: несколько плат устанавливаются в одну оснастку. Применяется в случае, если время флюсования или предварительного нагрева одной платы превышает время пайки.



Оснастка для мультиплицирования

10.4.3 Калибровка линии селективной пайки

Перед началом процесса пайки необходимо выполнить обязательную **калибровку** рабочего оборудования.

Калибровка оборудования — это настройка точности позиционирования элементов оборудования при помощи эталонных инструментов и оснасток.

Калибровка необходима для выставления точного положения элементов оборудования, которое обеспечивает флюсование и пайку строго в местах (траекториях), указанных в управляющей программе, а также для корректного измерения высоты волны припоя.

Калибровка может выполняться при помощи машин и калибровочных оснасток, а также с использованием оборудования Selective Rider.

Selective Rider — это измерительная палета, предназначенная для регистрации параметров процесса селективной пайки (сбора машинных данных), с помощью которых проводится последующая калибровка.

Параметры, фиксируемые Selective Rider:

1. Высота волны припоя.
2. Точность перемещения нозла по заданным координатам (по осям X/Y).
3. Диаметр волны припоя (проверка типоразмера нозла относительно диаметра, указанного в управляющей программе).
4. Температура припоя на кончике волны.
5. Температура в зоне предварительного нагрева (аналогично работе пирометра).
6. Температура припоя в точке контакта волны припоя с измерительной палетой (измеряется при помощи открытой термопары и термопары внутри стеклотекстолита).
7. Проверка модуля флюсования (точность нанесения флюса в соответствии с заданными координатами).



Selective Rider

Давайте подробнее разберемся в калибровке линии селективной пайки с использованием функционала машины и калибровочных оснасток на примере машины Seho.

10.4.3.1 Калибровка оптической камеры

Калибровка оптической камеры — установка нулевой точки в системе координат машины. Калибровка нужна для совмещения заданной нулевой точки в управляющей программе и фактической нулевой точки на печатной плате (обеспечивает флюсование и пайку строго в месте, указанном в управляющей программе).

10.4.3.2 Калибровка нозлов

После установки нозлов осуществляется обязательная калибровка, каждый нозл калибруется по очереди.

Параметры калибровки:

1. Координаты нозла.
Необходимо настроить совмещение центра нозла и центра разметки калибровочного стекла, установленного на конвейере в крайнем положении (положение у стопора).



Совмещения центра нозла и центра разметки калибровочного стекла

2. Высота нозла.
Между нозлом и калибровочным стеклом должно быть расстояние приблизительно 0,1 мм (данное расстояние соответствует толщине листа бумаги).
3. Положение нозла относительно измерительной иглы.
Необходимо настроить положение центра нозла относительно кончика измерительной иглы.
4. Высота нозла относительно измерительной иглы.
Между нозлом и измерительной иглой должно быть расстояние приблизительно 0,1 мм (данное расстояние соответствует толщине листа бумаги).
5. Высота волны (измеряется при помощи измерительной иглы).

После выстраивания центрального положения нозла относительно иглы, измеряется высота волны. Нозл с припоем поднимается до момента контакта волны с наконечником измерительной иглы. Данное значение высоты волны фиксируется в машине.

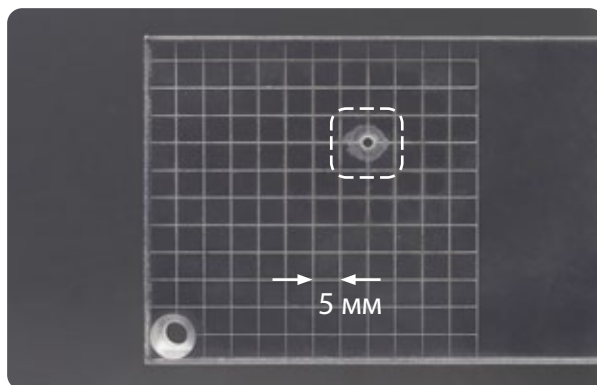


Касание измерительной иглы и волны припоя в оборудовании Seho

10.4.3.3 Калибровка флюсователя

Перед началом процесса селективной пайки флюсователь проходит обязательную калибровку координат флюсования при помощи калибровочного стекла:

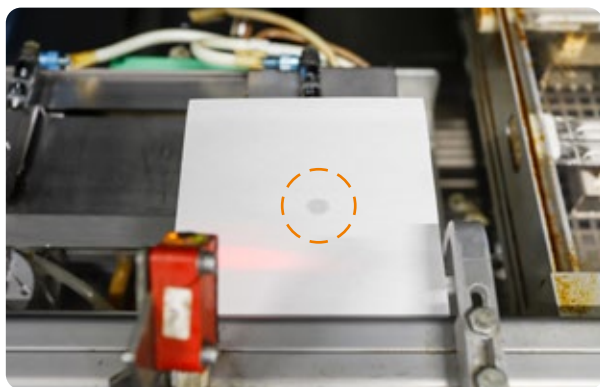
1. Необходимо настроить центральное положение головы флюсователя относительно отверстия в калибровочном стекле. Флюс должен попадать в отверстие в оснастке.



Ореол флюсования на калибровочном стекле

После флюсования оснастка извлекается и проверяется нанесение флюса: ореол от флюса должен быть в пределах четырех квадратов (5 мм в каждую сторону от калибровочного отверстия).

2. Сверху на калибровочное стекло помещается лист проверочной бумаги, после флюсования на листе должно образоваться четкое пятно от флюса.



Ореол флюса на проверочной бумаге

10.4.4 Термопрофилирование линии селективной пайки

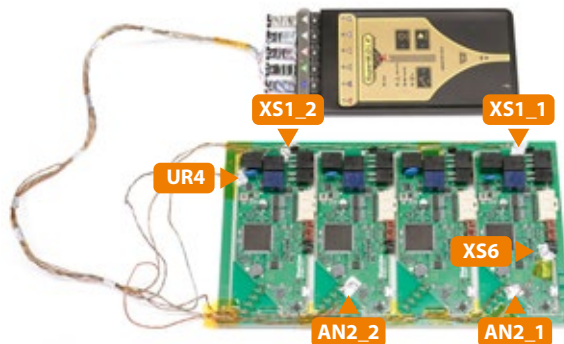
Термопрофилирование линии селективной пайки необходимо для определения температуры в местах пайки в процессе прохождения платой зоны преднагрева и пайки. Данные термопрофилирования используются для корректировки параметров технологического процесса.

На производствах НПО СтарЛайн для термопрофилирования используются термопрофайлеры KIC X5 и ECD Super M.O.L.E. Gold 2.

Термопары присоединяются при помощи алюминиевого скотча к металлизированным площадкам или паяным соединениям со стороны установки компонентов.

Рекомендации по подключению термопар:

1. Одна термопара подключается к металлическим разъемам.
2. Две термопары присоединяются к DIMM-разъемам.
3. Три термопары подключаются к компонентам, установленным на краях печатной платы.



Пример подключения термопар к печатной плате с указанием позиционных обозначений компонентов.

Процесс термопрофилирования изделия на линии селективной пайки:

1. Модуль флюсования временно отключаем, так как в процессе не происходит изменения температуры платы.
2. Выполняем снятие температурных показаний в зоне предварительного нагрева. В машине Seho предусмотрен штатный пирометр, который измеряет температуру в одной точке. Для анализа технологического процесса необходимо подключить шесть термопар для проверки температуры платы в нескольких точках (точки на плате отличаются по теплоемкости). Температура каждой точки должна находиться в диапазоне температуры активации флюса, указанной в спецификации на флюс. При отклонении температуры ниже или выше заданного диапазона необходимо изменить температуру и время предварительного нагрева печатной платы.

3. Снимаем температурные показания в зоне пайки (температурные данные с точек подключения термопар во время пайки выводов). После предварительного нагрева печатная плата начинает терять температуру (охлаждаться), поэтому необходимо контролировать температуру точек пайки до момента контакта с волной припоя. Поэтому в зоне пайки необходимо поддерживать температуру точек на уровне активации флюса. Для поддержания температуры существует дополнительный инфракрасный подогрев печатной платы (100 °C для свинцовой технологии, 120 °C — для бессвинцовой).
4. Анализируем результаты термопрофилирования.

Для анализа необходимо отрисовать пять вспомогательных линий на графике в программе:

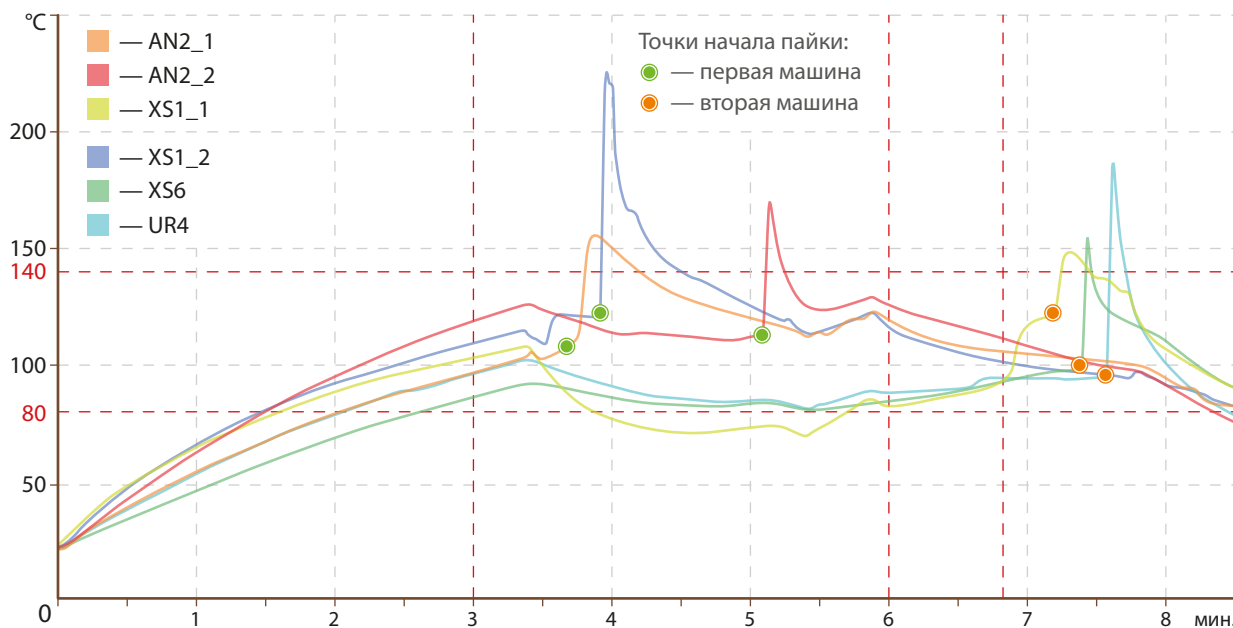
1. Диапазон температуры активации флюса (две горизонтальные линии). В нашем случае это диапазон 80–140 °C, согласно технической документации на используемый флюс.

2. Время окончания предварительного нагрева (вертикальная линия) на первой машине.
3. Время начала и окончания предварительного нагрева (две вертикальные линии) на второй машине.

До окончания предварительного нагрева все точки пайки должны дойти до температуры активации флюса. Если это не выполняется, то необходимо скорректировать предварительный нагрев (время или температуру).

После предварительного нагрева начинается поочередная пайка выводов компонентов согласно управляющей программе. На графике термопрофиля момент подхода нозля к точке пайки (выводу) отражен в виде резкого подъема линии температуры.

Температура пиков на графике не соответствует температуре припоя или температуре перехода припоя из твердого состояния в жидкое, потому что термопары прикреплены к верхней части платы, а пайка происходит с нижней стороны.



Термопрофиль линии селективной пайки

Также в технической документации на флюс могут быть указаны рекомендации по скорости набора температуры и допустимому времени нахождения платы в зоне предварительного нагрева. Если данные требования указаны, то их необходимо учитывать при анализе результатов термопрофилирования.

Например, согласно рекомендациям AIM (флюс FX16) скорость набора температуры в процессе предварительного нагрева должна составлять 1–3 °C/сек, а рекомендованное время преднагрева от 40 °C до момента контакта с волной составляет 60–180 сек.

После получения данных с термопрофилировщика и выявления точек для улучшения технологического процесса можно выполнить корректировки следующих параметров:

1. Температура и время предварительного нагрева.
2. Температура дополнительного подогрева в зоне пайки.
3. Очередность траекторий пайки (в первую очередь необходимо паять выводы, которые быстрее остальных теряют температуру).

10.4.5 Возможные дефекты и методы их устранения

Отлаживание процесса селективной пайки происходит на пилотной партии — необходимо добиться качественного, стабильного и повторяемого результата пайки.

Важные правила при работе с отклонениями в процессе отладки:

1. Если дефект повторяемый (места его нахождения на всех печатных узлах мультizaготовки идентичны), то необходимо скорректировать траектории пайки, флюсования или параметры пайки, флюсования.

2. Если дефект переменный (места его нахождения разнятся от изделия к изделию), то причина в калибровке, необходимости обслуживания оборудования (забился флюсователь, ошибка конвейера) или материалах (флюс, азот, припой).

Алгоритм работы с отклонениями (дефектами) после выполненного процесса отладки:

1. Проверка состояния инструментов, материалов и калибровки оборудования.
2. Изменение параметров пайки и флюсования в управляющей программе.

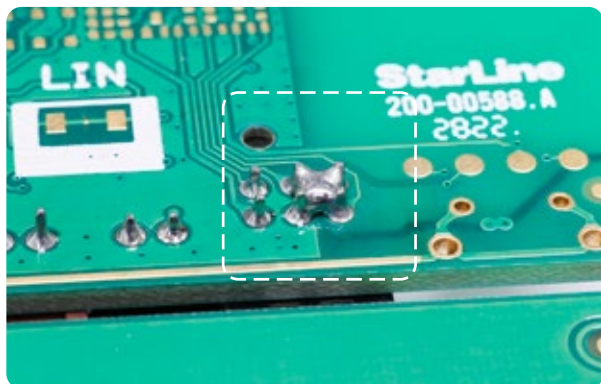
Самыми распространенными дефектами селективной пайки являются непротекание припоя в металлизированные отверстия и перемычки между выводами компонентов.

Давайте подробнее разберемся в дефектах и методах их устранения.

1. Перемычки

- 1.1 Продлить траекторию пайки (нозл заканчивает траекторию пайки дальше от выводов, если позволяет компоновка платы).
- 1.2 Уменьшить мощность волны (высоту) в конце траектории пайки, если в этом месте образуются перемычки.
- 1.3 Отрегулировать скорость опускания нозла после окончания пайки, если перемычки образуются в конце маршрута пайки.
- 1.4 Из-за малого количества флюса — необходимо проверить и скорректировать модуль флюсования (смещение насадки флюсователя).
- 1.5 Отрегулировать скорость пайки, если перемычки на всей траектории пайки.
- 1.6 Из-за низкой температуры преднагрева — проверить ручным пирометром температуру в нескольких точках на плате или выполнить термопрофилирование.
- 1.7 При образовании перемычек между шестью и более выводами необходимо

проверить модуль флюсования: забита насадка флюсователя или это ошибка конвейера (плата не доехала до стопора).

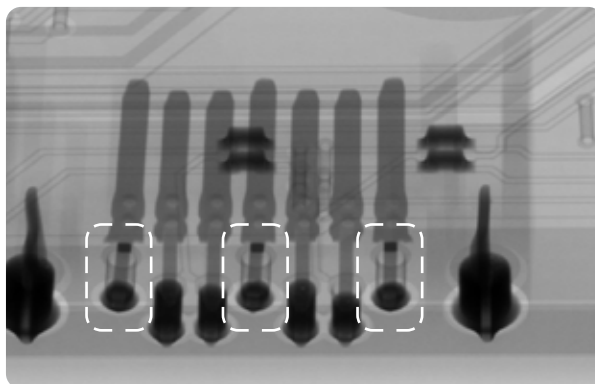


Перемычка между выводами компонента

2. Протекание припоя не соответствует классу изделия по IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок» или требованиям заказчика

- 2.1 Низкая температура преднагрева (80% случаев) — проверить ручным пирометром несколько точек на плате или выполнить термопрофилирование.
- 2.2 Уменьшить скорость пайки.
- 2.3 Из-за малого количества флюса — необходимо проверить и скорректировать модуль флюсования (смещение насадки флюсователя).
- 2.4 Увеличить уровень подаваемого флюса (низкий — нормальный — высокий).
- 2.5 При наличии дефекта в начале или в конце траектории увеличить время задержки нозла в начале или в конце траектории.
- 2.6 При наличии дефекта в начале траектории, поднять нозл в первой точке пайки.
- 2.7 Уменьшить расстояние от нозла до платы в процессе пайки, соблюдая безопасное расстояние между нозлом и выводами компонента.
- 2.8 Скорректировать траекторию и параметры пайки с учетом имеющихся земляных полигонов, теплоемкости печатной платы и компонентов.

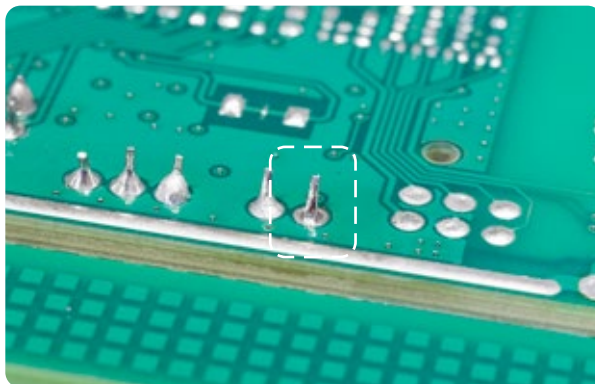
2.9 Проверить модуль флюсования: забита насадка флюсователя или это ошибка конвейера (плата не доехала до стопора).



Протекание припоя не соответствует IPC-A-610

3. Недостаточное смачивание (галтель со стороны пайки не соответствует критериям качества согласно IPC-A-610 или требованиям заказчика)

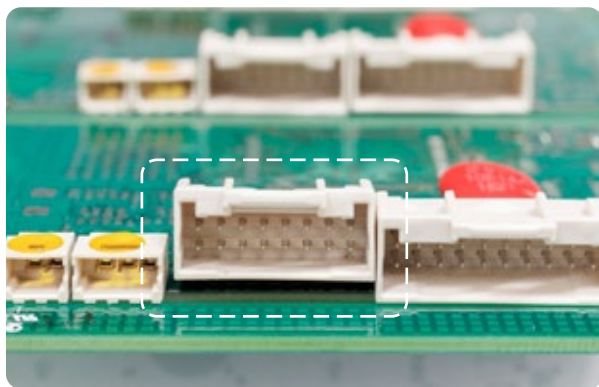
- 3.1 Уменьшить скорость пайки.
- 3.2 Из-за малого количества флюса — необходимо проверить и скорректировать модуль флюсования (смещение насадки).
- 3.3 Проверить и скорректировать траекторию пайки с учетом имеющихся земляных полигонов, теплоемкости печатной платы и компонентов.
- 3.4 При наличии дефекта в начале или в конце траектории — увеличить время задержки нозла в начале или в конце траектории.



Отсутствие галтели со стороны пайки компонента

4. Выбивание компонента из монтажного отверстия

- 4.1 Проверить мощность волны, при необходимости перенастроить мощность помпы при помощи калибровки.
- 4.2 Увеличить расстояние от нозла до платы в первой точке траектории пайки, если компонент выбивает со стороны первого вывода.
- 4.3 Увеличить расстояние от нозла до платы во время пайки, если компонент поднимает по всей длине.
- 4.4 Уменьшить скорость поднятия нозла к началу траектории пайки (из-за высокой скорости легкие компоненты поднимает из платы волной припоя).

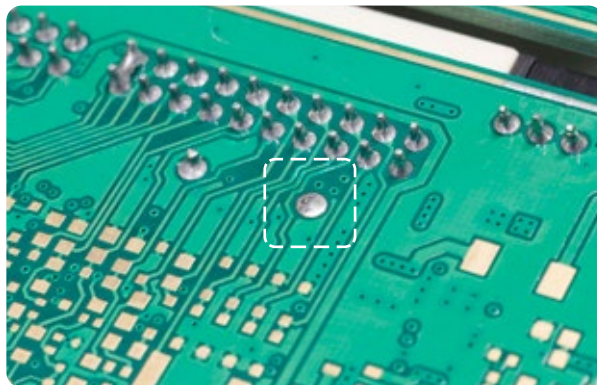


Некомпланарный разъем

5. Не просматривается вывод в паяном соединении

- 5.1 Если компонент установлен не компланарно или выбит волной припоя в процессе пайки, то один или часть выводов будут находиться выше остальных, из-за чего в процессе пайки образуется большой шарик припоя на месте паяного соединения, а не галтель припоя.
- 5.2 Отрегулировать скорость опускания нозла после окончания пайки, если выводы не просматриваются в припое в конце маршрута пайки.
- 5.3 Увеличить скорость пайки.

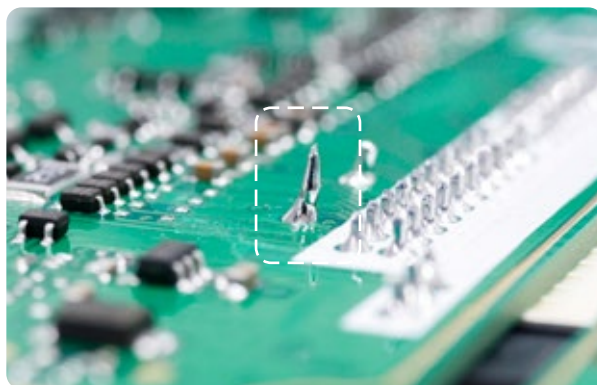
- 5.4 Из-за малого количества флюса — необходимо проверить и скорректировать модуль флюсования (смещение насадки флюсователя).



Не просматривается вывод в паяном соединении

6. Сосульки припоя

- 6.1 Увеличить скорость опускания нозла после окончания пайки, если сосульки припоя образуются в конце траектории пайки.
- 6.2 Проверить температуру волны припоя, так как из-за низкой температуры образуются сосульки, а не галтели.

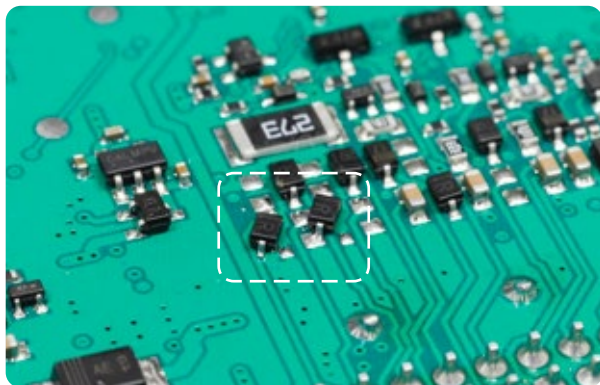


Сосульки припоя

7. Смещение SMD-компонентов волной припоя

Волна припоя повторно оплавляет места соединения компонента и контактной площадки, после чего компонент тянется

за припоем и отпаивается от контактных площадок. Для устранения данного дефекта необходимо сместить траекторию пайки на допустимое расстояние.



Смещение SMD-компонентов волной припоя

8. Залитие припоем платы со стороны установки компонентов через металлизированные отверстия

- 8.1 Из-за нестабильной волны припоя — необходимо скорректировать мощность помпы и добиться стабильной волны с правильно настроенным конусом припоя.
- 8.2 Проверить и скорректировать расстояние от нозла до платы в процессе пайки, а также расстояние от нозла до платы в первой точке траектории пайки.
- 8.3 Уменьшить мощность (высоту) волны.

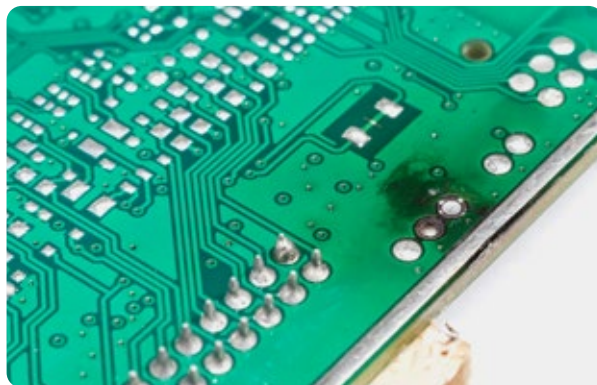


Печатная плата залита припоем со стороны установки выводных компонентов

- 8.4 Из-за деформации платы — спроектировать оснастку для печатной платы или скорректировать расстояние от нозла до платы (в ручном режиме в месте прогиба или при помощи функции корректировки деформации).

9. Повреждение защитной маски печатной платы

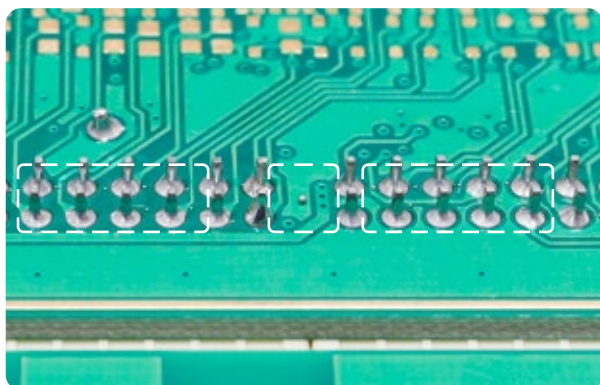
- 9.1 Уменьшить температуру припоя.
- 9.2 Увеличить скорость пайки, так как из-за долгого нахождения нозла в точке защитная маска отслаивается.
- 9.3 Проверить время задержки нозла в начале или в конце траектории пайки, если повреждение маски обнаружено в данных местах.



Повреждение защитной маски печатной платы

10. Шарики припоя

- 10.1 Заменить флюс — подобрать другой флюс для технологического процесса (материал основания, активность).
- 10.2 Скорректировать предварительный нагрев (температура всех точек на плате после предварительного нагрева должна находиться в диапазоне температуры активации флюса).



Шарики припоя

10.4.6 Исключения в использовании линии селективной пайки

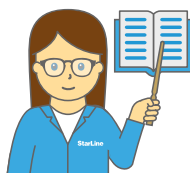
В 80% случаев для выводного монтажа может быть использована селективная линия, но есть случаи, когда это невозможно по некоторым причинам:

1. Топология печатной платы должна быть адаптирована для селективной пайки. Если SMD-компоненты близко расположены к выводам паяемых компонентов, то при прохождении нозля с припоем произойдет оплавление и смещение ближайших SMD-компонентов или корпусов выводных компонентов при двухстороннем сквозном монтаже.



Близкое расположение выводов паяемых компонентов к корпусам выводных компонентов при двухстороннем сквозном монтаже

2. Из-за наличия компонентов, чувствительных к температурному режиму.
3. Из-за конструктивных особенностей оборудования и исполнительных деталей ТНТ-линии.
4. Из-за уменьшения производительности линии селективной пайки:
 - в случае необходимости двойных проходов нозля с минимальным диаметром;
 - в случае увеличения времени операции из-за изменения стороны подходов нозля к выводным компонентам (больше перемещений управляющей головы оборудования).



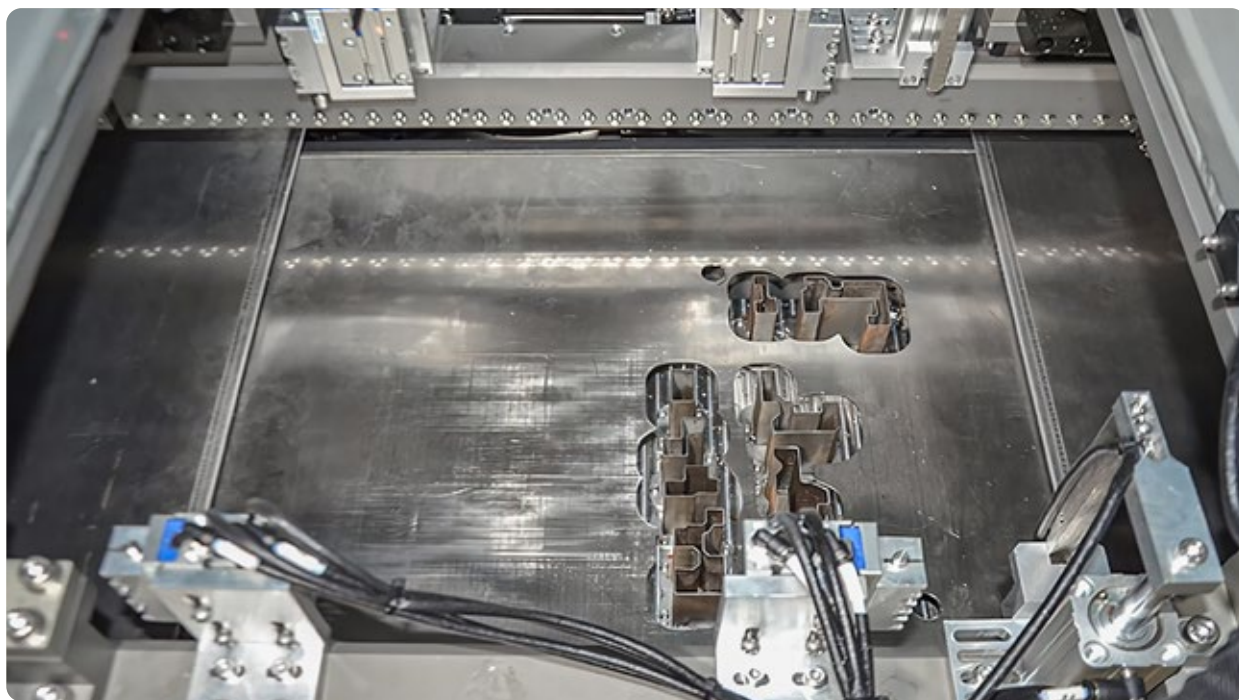
А знаете ли вы про технологию выборочной пайки выводных компонентов при помощи пластины с соплами?

Данный процесс селективной пайки состоит из основных технологических этапов: выборочное флюсование, предварительный нагрев и пайка. Отличительным этапом является пайка, остановимся на ней подробнее.

Такой тип пайки называют «многоволновой», так как паяльная ванна состоит из специального паяльного инструмента: пластины с соплами. На ванне установлена опорная плита, на которой сопла припоя расположены так, что их размер и положение соответствуют паяным соединениям на плате.

После погружения и последующего извлечения пластины из ванны припой остается в полостях (соплах) и поднимается наружу, образуя небольшой конус припоя, пригодный для пайки. Печатная плата размещается над соплами с жидким припоем, и все выводы печатной платы припаиваются одновременно при контакте сопел с печатной платой.

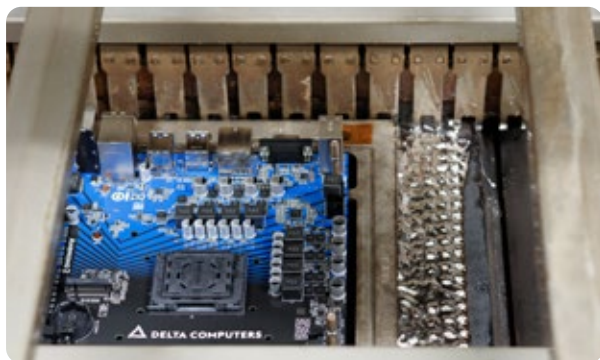
Пластины с паяльными соплами и держатели компонентов для конкретного изделия проектируются индивидуально.



Пластина с соплами для селективной пайки

10.5 Линия волновой пайки

Волновая пайка — это автоматизированный процесс групповой пайки выводных компонентов, монтируемых в отверстия.



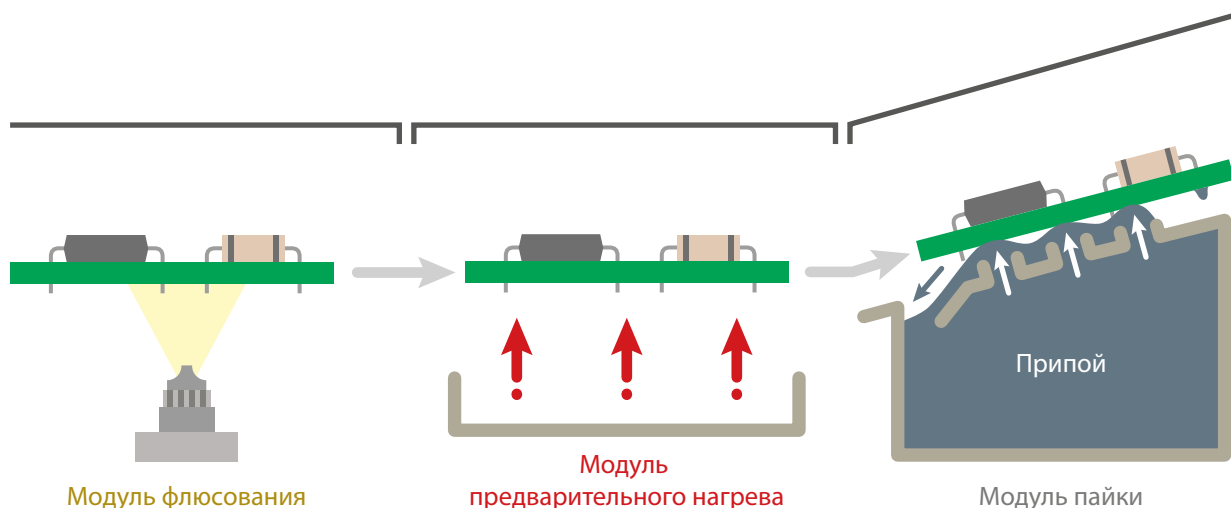
Волновая пайка

Механика процесса волновой пайки:

1. Плата находится в постоянном движении по конвейеру.
В процессе пайки на селективной линии

печатная плата находится в неподвижном состоянии при выполнении технологической операции, а ключевые узлы — нозли и флюсователь — точно «подходят» к каждому из выводов компонентов. В процессе волновой пайки ситуация ровно наоборот: печатная плата находится в движении по конвейеру, а ключевые узлы неподвижны (кроме флюсователя, который перемещается по оси Y для увеличения рабочего поля флюсования). При использовании волновой пайки плата перемещается по конвейеру под определенным углом наклона. Скорость конвейера выбирается технологом и регулируется для достижения требуемого уровня качества и оптимизации.

2. В процессе движения на плату наносится флюс методом распыления.
3. Печатная плата проходит через несколько зон предварительного нагрева для равномерного прогрева и достижения требуемой температуры (температуры активации флюса).
4. В зоне пайки создается стационарная, постоянно обновляемая волна расплавленного припоя. Печатная плата движется поперек «гребня» волны.
Стационарная волна припоя затекает в металлизированные отверстия и запаивает их, пока плата находится в движении.

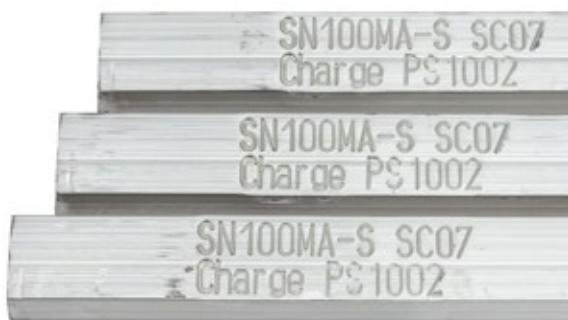


Процесс волновой пайки

10.5.1 Материалы

10.5.1.1 Припой

Припой для линии волновой пайки — это сплав металлов, который представлен в форме бруска.



Припой в брусках

Для обеспечения высокого уровня качества пайки выбирается припой с наименьшим количеством примесей. Применение наиболее чистого припоя позволяет минимизировать образование шлама и количество дефектов в процессе пайки, а также увеличивает срок службы оборудования.

На производствах НПО СтарЛайн используются припои для свинцовой и бессвинцовой технологий:

1. Sn100 MA-3 SC07 Charge PS 1002.
2. Sn63Pb37P CH5571.

10.5.1.2 Флюс

Для пайки на волне, как и для селективной пайки, выбирается флюс с минимальным содержанием твердых частиц, которые в процессе эксплуатации засоряют сопло флюсователя.

Флюс выполняет три основные функции:

1. Удаление оксидной пленки, за счет чего обеспечивается смачиваемость припоем контактных поверхностей.
2. Эффективная передача тепловой энергии при пайке для быстрого и равномерного прогрева выводов.
3. Защита спаиваемых поверхностей от повторного окисления при воздействии высоких температур пайки.

10.5.2 Оборудование

10.5.2.1 Линия волновой пайки

На производствах НПО СтарЛайн используются следующие линии волновой пайки:

1. Ersa POWERFLOW ULTRA XXL.
2. Ersa POWERFLOW ULTRA XL.

Отличие линий заключается в наличии дополнительной зоны преднагрева в машине XXL. Эта зона оснащена конвекционным подогревом сверху и подогревом при помощи тэнов снизу.

Также модели отличаются максимальной шириной конвейера. В XL максимальная ширина — 500 мм, в XXL — 600 мм.



Линия пайки волной Ersa POWERFLOW ULTRA XXL

10.5.2.2 Защитные маски

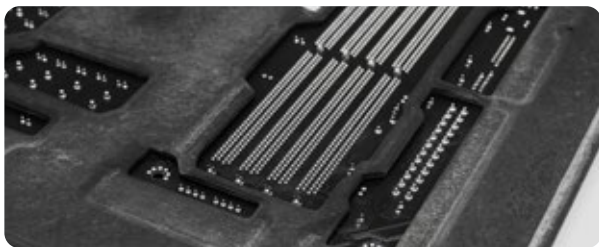
Волновая пайка происходит с использованием специальных оснасток — **защитных масок**.

Защитная маска — это оснастка, которая эффективно защищает (маскирует) области, где припаяны компоненты поверхностного монтажа (SMD), предотвращая их повторное оплавление, смещение и отпаивание.

Через отверстия в защитной маске волна припоя соприкасается с платой в местах, где расположены выводы компонентов в металлизированных отверстиях. Каждая защитная маска уникальна и подходит для сборки определенной печатной платы, то есть для каждого вида изделия требуется индивидуальная маска.



Защитная маска для волновой пайки



Защитная маска для волновой пайки

Материалом защитной маски чаще всего является **Durostone (дюростон)**.

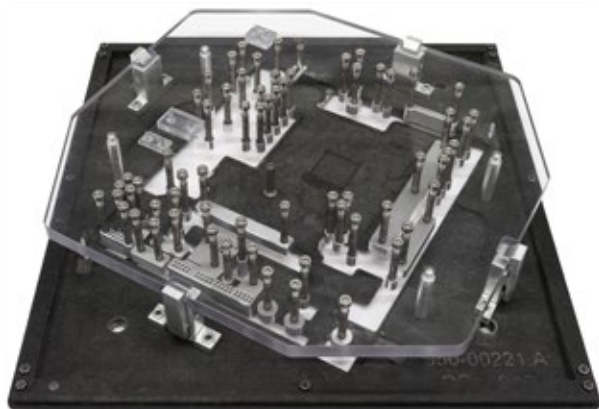
Дюростон — армированный специальным волокном пластик, обладающий электроизоляционными и термоизоляционными характеристиками.

Срок службы защитных масок из дюростона составляет 1000 и более циклов контакта с волной припоя.

Для удержания платы в защитной маске используется один из следующих способов:

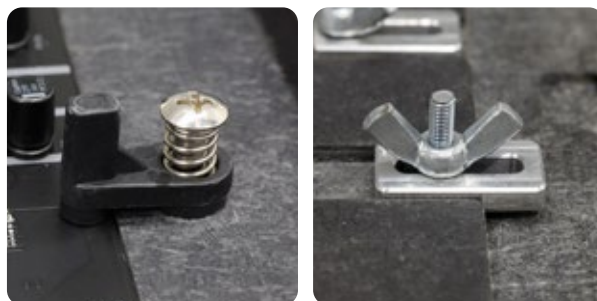
1. Крышка, укомплектованная прижимами.
2. Плата фиксируется зажимами на маске.

Крышка с прижимами необходима для фиксации выводных компонентов в монтажных отверстиях и для фиксации платы в маске (для исключения изгиба и деформации от температуры) в процессе пайки.



Маска с крышкой, на которой установлены прижимы

Зажимы на маске нужны для фиксации платы.



Маска с зажимами

Также маски могут быть укомплектованы бортиками, которые защищают сторону установки компонентов от переливов волны припоя.



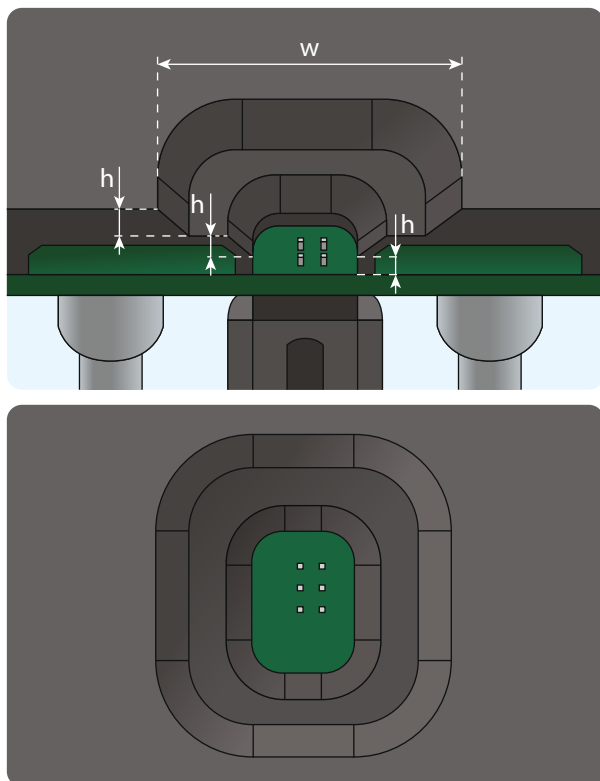
Защитный бортик

При проектировании масок соблюдаются определенные правила, рассмотрим основные из них:

1. Исключение «теневой» позиции выводов.

Окна в маске выполняются с минимально допустимой высотой ступенек. Это связано с тем, что печатная плата при пайке волной идет с определенной скоростью, и если перепад ступеньки будет большой, то сразу за ступенькой выводы будут не запаяны.

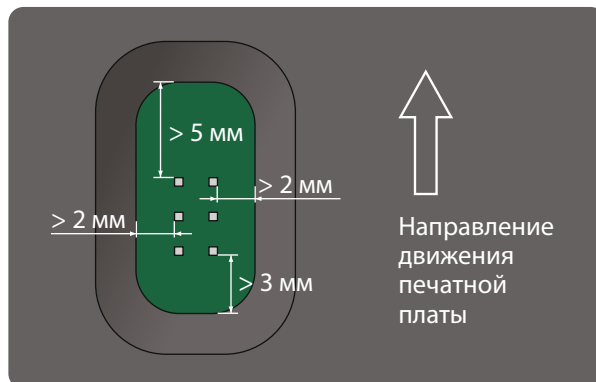
Высота ступеньки (h) проектируется минимальной, а ширина (w) — максимально допустимой.



Пример ступени в маске

2. Размер окон в защитной маске.

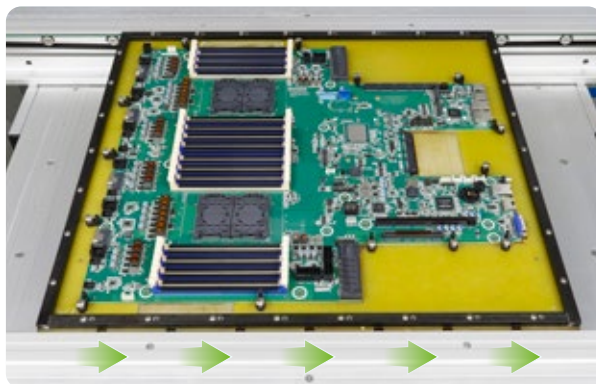
Для обеспечения качественной пайки зазор между выводом и краем окна должен быть 5 мм до и 3 мм после вывода по ходу движения платы в линии, по краям — по 2 мм.



Размер окон в защитной маске

3. Ориентация печатной платы при пайке.

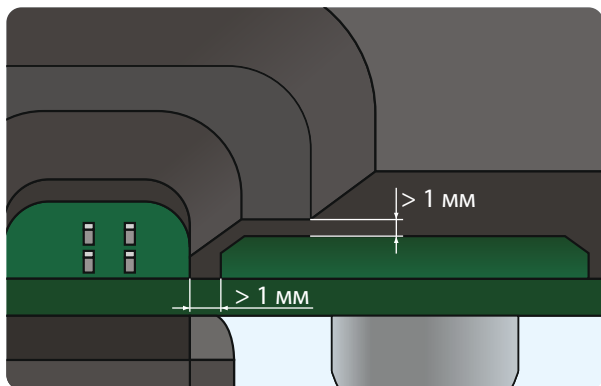
Печатная плата на конвейере ориентирована менее нагруженной стороной вперед, т. е. стороной, на которой устанавливается меньше выводных компонентов. Это необходимо для равномерного прогрева платы в зоне преднагрева. Если первыми в зону будут попадать теплоемкие компоненты, то они заберут на себя тепло из модуля, и остальной части платы его не хватит, а система не сможет так быстро поддерживать требуемую температуру.



Ориентация печатной платы с DIMM-разъемами

Например, если на печатной плате присутствуют DIMM-разъемы, то плата будет ориентирована вперед стороной, противоположной данным разъемам.

4. **Окна в защитной маске делаются максимально допустимого размера**, чтобы было максимальное пятно контакта припоя и выводов в отверстиях. Волна припоя поднимает температуру печатной платы и повышает за счет этого протекание.
5. **Минимальная толщина маски составляет 1 мм**. Если сделать тоньше, то маска не выдержит температурного напряжения.



Минимальная толщина защитной маски

6. **Расположение SMD-компонентов от края маски.**

От края маски до ближайшего компонента должно быть минимум 1 мм. Это необходимо для компенсации теплового расширения печатной платы, допуска на установку платы в маску и допуска на смещение компонента на контактных площадках.

7. **Дорожки и незабитые переходные отверстия должны быть закрыты маской** для исключения обесцвечивания маски печатной платы и оголения меди в процессе пайки.

10.5.3 Модули волновой пайки

При волновой пайке плата находится в движении, поэтому одним из основных параметров является скорость конвейера. Данная скорость применяется ко всем модулям.

Конвейеры в линии волновой пайки — цепной и пальчиковый (в зоне пайки).

Скорость конвейера выставляется с учетом конструкции защитной маски, ритма работы всей производственной линии, температуры предварительного нагрева и времени контакта печатной платы с волной припоя, а максимально возможная скорость конвейера определяется программно в соответствии со значениями параметров флюсования.

Шаблонная скорость составляет **100 см/мин**, затем в процессе термопрофилирования достигается оптимальная скорость.

По опыту НПО СтарЛайн серверные платы запаиваются со скоростью **50 см/мин**, а для более простых изделий для обеспечения баланса скорости и высокого уровня качества пайки рекомендуется выставлять скорость в пределах **90–130 см/мин**.

10.5.3.1 Модуль флюсования

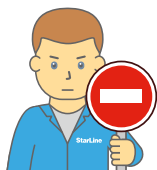
Модуль флюсования укомплектован спрей-флюсователем, который наносит флюс снизу на поверхность печатной платы, установленной в защитную маску.



Модуль флюсования

Распыление флюса происходит через центральное отверстие в флюсователе, а по бокам у него — отверстия, через которые подается воздух. В результате столкновения струи флюса и воздуха получается веерное распыление.

Перед началом работы производится осмотр сопел флюсователя на просвет, сопла должны быть чистыми.



Если сопла будут забиты твердыми частицами флюса, то флюсование будет неравномерным и прерывистым, что приведет к некачественным паяным соединениям.

Голова флюсователя совершает поступательное движение по одной траектории, пока над ним движется печатная плата.



Процесс флюсования

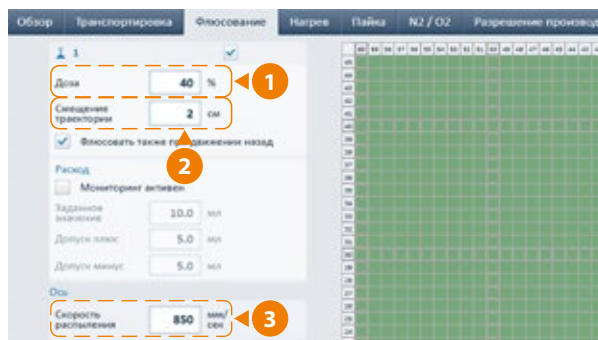
Флюсовать можно двумя способами:

1. Только при ходе головы в одну сторону, а возврат вхолостую.
2. Флюсование происходит в обе стороны.

Внутри модуля флюсования сверху и снизу расположена вытяжка, которая улавливает флюс, который не попал на плату или отскочил от нее.

В управляющей программе обозначается область флюсования, которая соответствует размеру печатной платы. Флюсование идет одной

большой областью, а не точно, как на линии селективной пайки.



Параметры и область флюсования в программе ErsA

Параметры флюсования:

- 1 Доза флюсования (%) — объем флюса в процентах от максимально допустимой производительности насоса, с помощью которого флюс подается на форсунку и распыляется направленным воздухом.
Шаблонная доза флюсования: **40–50%.**
- 2 Смещение траектории (см) — задержка хода головы флюсователя в конце траектории. Когда конвейер пройдет заданное расстояние, движение флюсователя продолжится.
Траектории флюсования должны пересекаться для полного покрытия платы флюсом без пропусков.
Шаблонное смещение траектории: **2 см.**
- 3 Скорость распыления (мм/сек) — скорость движения флюсователя по заданной траектории.
Шаблонная скорость распыления: **850 мм/сек.**

После программной настройки модуля флюсования необходимо проверить количество флюса, нанесенного на печатную плату. Флюс должен покрывать всю поверхность равномерным слоем. В случае наличия «сухих» полос или пятен следует проверить параметры при помощи флюсометра (см. параграф 10.5.5) и по результатам скорректировать параметры флюсования.

10.5.3.2 Модуль предварительного нагрева

Предварительный нагрев необходим для:

1. Активации составляющих флюса (снятия окислов с контактных площадок, металлизированных отверстий и выводов компонентов).
2. Равномерного нагрева печатной платы.
3. Избежания термоудара печатной платы и компонентов в процессе пайки.



Модуль предварительного нагрева

Модуль предварительного нагрева линии волновой пайки Ersa POWERFLOW ULTRA XXL состоит из следующих зон:

1. **Конвекционный нагрев через сопла (сверху и снизу).**



1-я зона предварительного нагрева

Данный тип нагрева аналогичен нагреву в конвекционных печах при оплавлении паяльной пасты.

Конвекционные модули демонстрируют свои преимущества при нагреве крупногабаритных компонентов или при использовании чувствительных к температуре компонентов, которые нельзя перегревать.

Параметры конвекционного модуля:

1. Температура (°C).
Шаблонное значение: **110 °C**.
2. Конвекция (%) — вводится скорость конвекционного вентилятора в процентах от максимальной скорости. Данный параметр контролирует скорость возобновления горячего воздуха в модуле. При прохождении плата забирает тепло из воздуха, и воздух становится холоднее. Скоростью вентилятора контролируется восполнение горячего воздуха в зоне преднагрева.
Шаблонное значение конвекции: **70%**.

2. **Конвекционный нагрев сверху, нижний нагрев при помощи тэнов.**

Параметры конвекции аналогичны параметрам в первой зоне преднагрева. Для тэнов задается температура нагрева (°C).



2-я зона предварительного нагрева

Шаблонные параметры 2-й зоны предварительного нагрева:

1. Конвекционный нагрев: температура **180 °С**, конвекция **70%**.
2. Температура тэнов: **180 °С**.

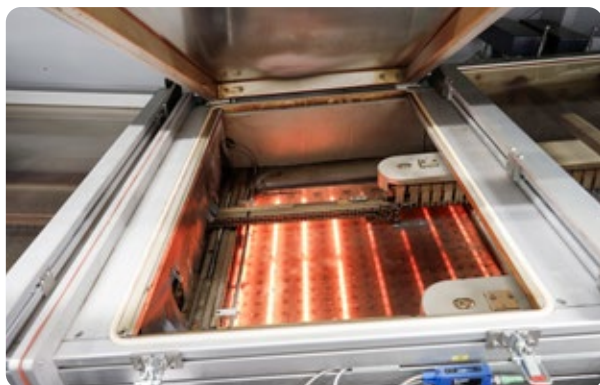
3. Нижний нагрев печатной платы при помощи тэнов.

Шаблонная температура тэнов: **250 °С**.



3-я зона предварительного нагрева

4. Нагрев печатной платы снизу при помощи кварцевых ламп (8 штук).



4-я зона предварительного нагрева

Параметры:

1. Мощность кварцевых ламп (%) при прохождении платы над ними (рабочее состояние), шаблонно выставляется **80–100%**.

2. Мощность кварцевых ламп (%) в процессе ожидания печатной платы (поддержание температуры в модуле), шаблонно выставляется **30–50%**.



Меню предварительного нагрева в программе ERSA

Последняя зона (в программном меню) отвечает за преднагрев тигля в процессе ожидания печатной платы. Шаблонная температура данной зоны: **200 °С**.

При выборе температуры предварительного нагрева необходимо использовать рекомендации производителя флюса. В технической документации на флюс указаны температура активации и рекомендуемое время нахождения платы при температуре активации. Например, у флюса Indium WF9942-1 температура активации флюса (преднагрева) 85–120 °С, а время — 50–75 секунд для бессвинцовой технологии пайки.

Также в технической документации на флюс может быть указана максимальная скорость набора температуры в зоне предварительного нагрева. Это важно при пайке многослойных печатных плат, чтобы добиться постепенного и равномерного нагрева печатной платы. В случае недостаточного прогрева и неполного удаления растворителя из флюса при пайке происходит выделение газов в волну припоя, это ухудшает смачивание и может приводить к непропаям выводов компонентов.

Проверка параметров предварительного нагрева осуществляется при помощи термопрофилирования.

Рекомендации по процессу волновой пайки из технической документации на флюс Indium WF9942-1 (для печатной платы толщиной 1,5 мм):

Сплав	Температура предварительного нагрева (°C)	Время предварительного нагрева (сек)	Время контакта волны припоя с выводом и контактной площадкой (сек)	Температура волны при контакте (°C)
Свинцовосодержащий	70–110	50–75	1,5–2	250–260
Бессвинцовый	85–120	50–75	3–5	265–270

10.5.3.3 Модуль пайки

10.5.3.3.1 Насадки для волновой пайки

Как формируется волна припоя?

На линии волновой пайки используется механический способ формирования волны припоя. Для этого используются насадки-волнообразователи с различными видами конструкции.

Ванна с расплавленным припоем вмещает в себя 700/900 кг (XL/XXL) припоя. Жидкий припой подается через волнообразователи.

На производствах НПО СтарЛайн для пайки используется волна двух типов, тип волны зависит от используемой насадки:

1. Турбулентная волна.

Турбулентная волна формируется волнообразователем с небольшими соплами выше уровня насадки.

Насадка для турбулентной волны устанавливается первой по ходу движения печатной платы. Это обусловлено тем, что турбулентная волна используется для заполнения металлизированного отверстия, то есть волна необходима для достижения требуемого протекания припоя.



Высота турбулентной волны составляет расстояние от волнообразователя до платы плюс толщина платы, чтобы залить припой в монтажные отверстия.

Недостаток турбулентной волны заключается в том, что образуются перемычки между выводами.



Насадка для турбулентной волны

2. Ламинарная волна.

Ламинарная волна формируется волнообразователем с небольшими соплами на уровне насадки.

Насадка для ламинарной волны устанавливается после турбулентной, так как с ее помощью формируется галтель припоя со стороны выводов

компонента, а также при помощи ламинарной волны снимаются перемычки и излишки припоя.



Высота ламинарной волны — расстояние от волнообразователя до платы.

Конструкция насадки ламинарной волны предполагает наличие участка с минимальным движением припоя или его полным отсутствием. Человеческим взглядом движение припоя почти не различимо, то есть нет «волн».



Насадка для ламинарной волны

10.5.3.3.2 Процесс пайки

Внутри ванны поддерживается необходимый объем расплавленного припоя, который непрерывным потоком подается через волнообразователи. Нижняя сторона печатной платы в защит-

ной маске накрывается волной расплавленного припоя. В ходе процесса происходит тщательное смачивание площадок печатной платы и выводов электронных компонентов. Жидкий припой за счет высоты волны, режима течения припоя (ламинарный, турбулентный) и за счет эффекта капиллярного подъема проникает вверх через металлизированные отверстия и тем самым формирует паяное соединение.

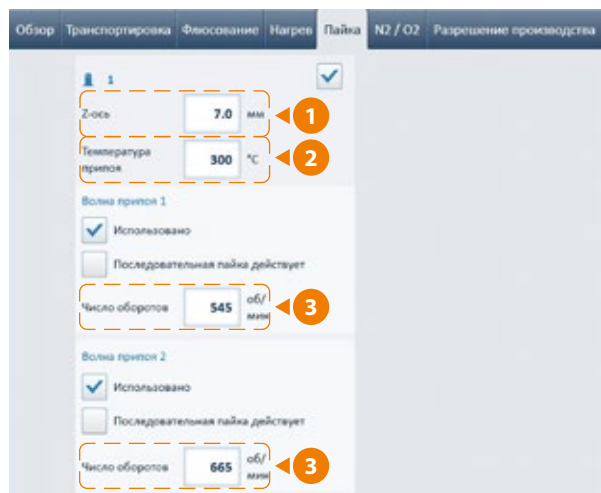
Чтобы обеспечить высокое качество паяного соединения, печатные платы перемещаются на конвейере под оптимальным углом наклона. Благодаря этому избыток припоя свободно стекает обратно в ванну, и на поверхности платы не образуются излишки припоя.



Модуль пайки

В зоне пайки установлены патрубки, через которые подается азот. Азот препятствует окислению вытекающего припоя молекулами кислорода, которые покрывают припой пленкой.

В начале последнего модуля преднагрева и после модуля пайки установлены специальные шторки, которые удерживают азот и ограничивают поступление кислорода в зону пайки.



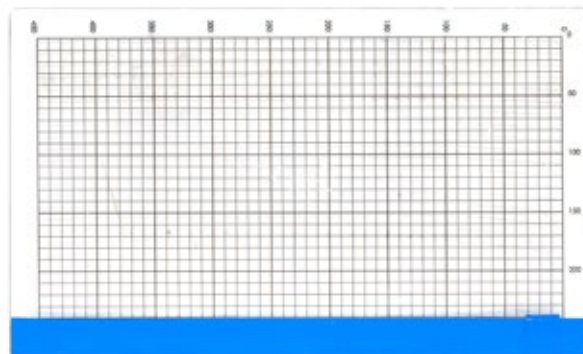
Параметры пайки в программе Erska

Параметры модуля пайки:

- 1 **Z-ось (мм)** — расстояние между волнообразователем и конвейером. Минимальное расстояние — 6,5 мм, чтобы волнообразователь не коснулся конвейера, а максимальное — 11 мм. На основе опыта НПО СтарЛайн при написании программы выбирается расстояние, равное 7 мм, а далее настраивается высота волны.
- 2 **Температура припоя (°C).** Температура пайки для свинцовых сплавов выставляется в диапазоне **260–300 °C**, а для бессвинцовых — **280–320 °C**. Существуют потери температуры на насадку (волнообразователь), теплоемкость платы, компонентов и защитной маски (из дюростона), а также на окружающую среду. Фактическая температура припоя в верхней точке волны на 20–30 °C меньше, чем указано в программе.
- 3 **Число оборотов (об/мин)** — мощность потока припоя, с помощью которой регулируется высота волны. Задается отдельно число оборотов для турбулентной

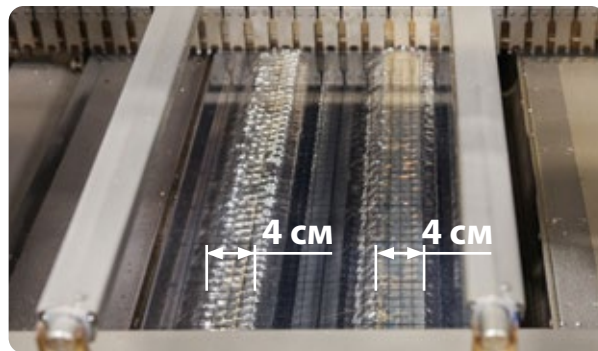
и ламинарной волн. Обороты настраиваются от меньшего к большему.

Для настройки числа оборотов и высоты волны используется оснастка из закаленного стекла со шкалой 10 мм, с помощью которой можно настроить ширину контакта и рассчитать время контакта.



Оснастка из закаленного стекла для настройки высоты волны

Для турбулентной и ламинарной волны рекомендуемая ширина смачивания составляет **3–4 см**. Необходимо поднимать обороты волны до тех пор, пока пятно контакта не будет соответствовать рекомендованному.



Контакт волны припоя и стеклянной оснастки

Ширина контакта вместе со скоростью конвейера определяет время контакта платы с припоем.

Время контакта можно рассчитать по формуле:

$$\text{Время контакта} = \frac{\text{Ширина смачивания}}{\text{Скорость конвейера}}.$$

Рекомендации по процессу волновой пайки из технической документации на флюс Indium WF9942-1 (для печатной платы толщиной 1,5 мм):

Сплав	Температура предварительного нагрева (°C)	Время предварительного нагрева (сек)	Время контакта волны припоя с выводом и контактной площадкой (сек)	Температура волны при контакте (°C)
Свинцовосодержащий	70–110	50–75	1,5–2	250–260
Бессвинцовый	85–120	50–75	3–5	265–270

В технической документации флюса указывается допустимое время контакта печатного узла с волной припоя и температура пайки (например, для флюса Indium WF9942-1 время контакта при использовании бессвинцовой технологии составляет 3–5 секунд).

После модуля пайки идет зона, в которой от защитной маски открепляются остатки припоя. Материал маски (дюростон) не образует соединение с материалом припоя, поэтому припой открепляется.

Далее идет зона с несколькими рядами шторок и обратным углом конвейера. Шторки частично задерживают тепло, происходит постепенное охлаждение платы, исключаящее термоудар.



Зона с рядом шторок



А знаете ли вы про воздушные ножи?

Некоторые установки волновой пайки дополнительно оборудованы воздушными ножами. Воздушные ножи с помощью узкого потока горячего воздуха, движущегося с большой скоростью, сдувают излишки припоя с паяных соединений и защитной маски.

10.5.4 Термопрофилирование

Термопрофилирование линии волновой пайки необходимо для определения температуры в местах пайки в процессе прохождения платы зоны предварительного нагрева. Данные термопрофилирования используются для корректировки технологического процесса.

На производствах НПО СтарЛайн для термопрофилирования используются термопрофайлеры:

- 1. KIC X5.
- 2. ECD Super M.O.L.E. Gold 2.

Термопрофилирование проводится с запаянной печатной платой, терморезисторы крепятся со стороны установки компонентов максимально близко к паяным соединениям при помощи алюминиевого скотча.

Процесс флюсования отключается, так как в этом процессе не происходит изменение температуры платы.

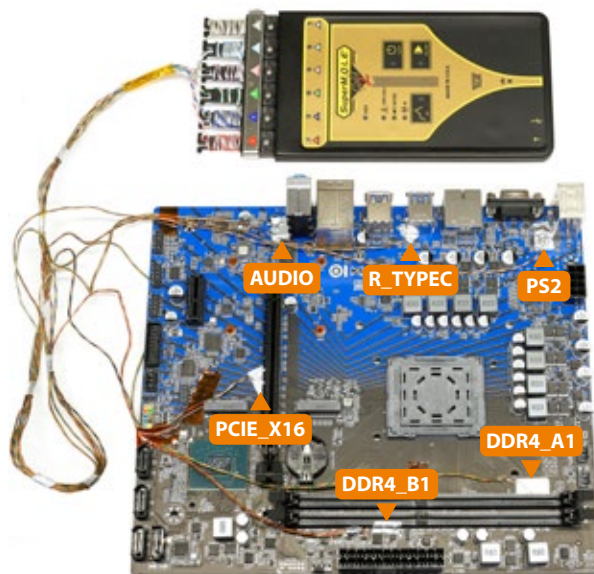
Рекомендации по подключению термпар:

1. Одна термопара подключается к металлическому разъему.
2. Две термопары присоединяются к DIMM-разъемам.
3. Три термопары подключаются к компонентам, установленным на краях печатной платы.

По результатам термопрофилирования необходимо подтвердить или скорректировать зону предварительного нагрева. Температура во всех точках перед соприкосновением с волной должна соответствовать температуре активации флюса.

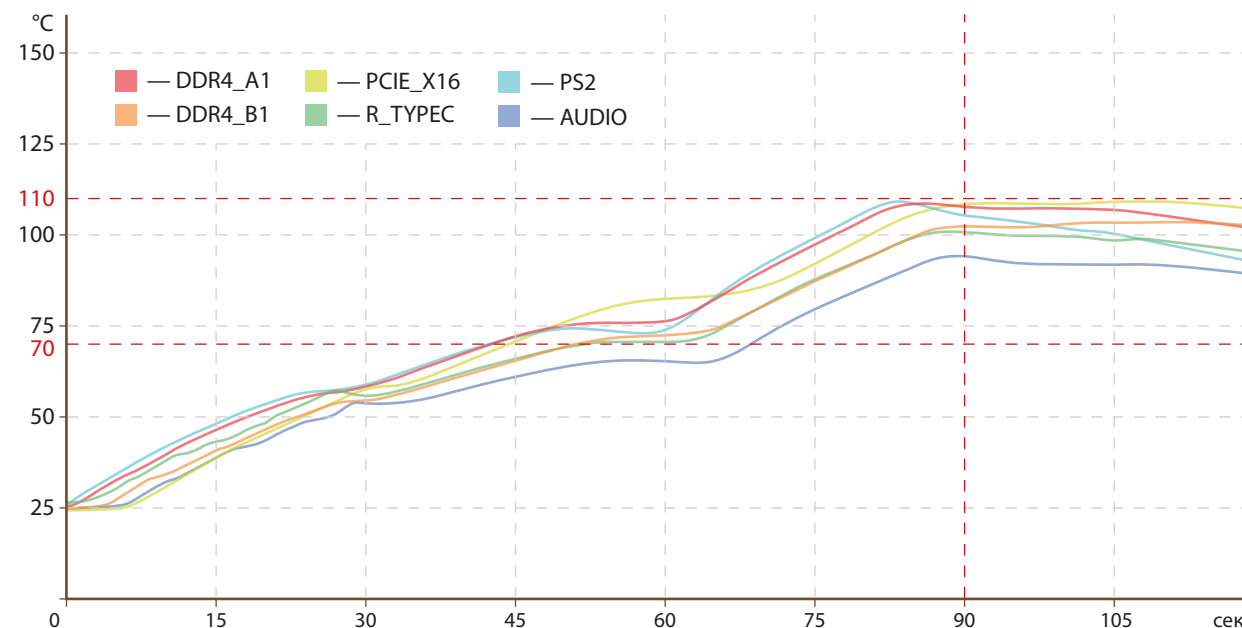
На графике в программе необходимо отрисовать три вспомогательные линии:

1. Диапазон температуры активации флюса (две горизонтальные линии). В нашем случае это диапазон 70–110 °C, согласно технической документации на используемый флюс.
2. Время окончания предварительного нагрева (вертикальная линия).



Пример подключения термпар к печатной плате с указанием позиционных обозначений компонентов.

До окончания предварительного нагрева все точки пайки должны дойти до температуры активации флюса. Если это не выполняется, то необходимо скорректировать предварительный нагрев (скорость конвейера или параметры в зонах).



Термопрофиль линии волновой пайки

10.5.5 Калибровка линии волновой пайки

Перед запуском волновой пайки плат, после проведения ежедневной очистки ванны с припоем от шлама необходимо провести калибровку высоты волны при помощи оснастки — закаленного стекла. Необходимо проверить высоту ламинарной и турбулентной волны, а также ширину контакта.

Также калибровка линии волновой пайки происходит при помощи **Wave Rider**.

Wave Rider — это измерительная палета для калибровки процесса пайки волной, предназначенная для регистрации и мониторинга параметров процесса волновой пайки.

При использовании **Wave Rider** проверяется выбранная программа пайки с ее параметрами. Необходимо программно изменить ширину конвейера (выставить ширину палеты **Wave Rider**).

Используется профилировщик **Super MOLE Gold 2** в качестве устройства для сбора данных.



Wave Rider

Wave Rider выполняет проверку:

1. Модуля флюсования.
2. Температуры и скорости предварительного нагрева.
3. Скорости конвейера.
4. Температуры припоя.

5. Времени контакта припоя и ширины контакта: исходя из этих параметров проверяется плоскостность волны припоя по ширине **опорной плиты** (компланарность установки опорной плиты).
6. Разницы температур при контакте платы с волной припоя.
7. Глубины погружения печатной платы в волну припоя.

Опорная плита в модуле пайки — это плита, на которую устанавливается волнообразователь, также на плите закреплены двигатель и вал, благодаря которым происходит подъем припоя из ванны.

Флюсометр в **Wave Rider** используется для калибровки модуля флюсования в конкретной программе.



Флюсометр

В процессе калибровки используется специальная бумага, на которой цветом будут отмечены траектории движения флюсователя, зона покрытия и интенсивность нанесения.

Возможные результаты тестирования:

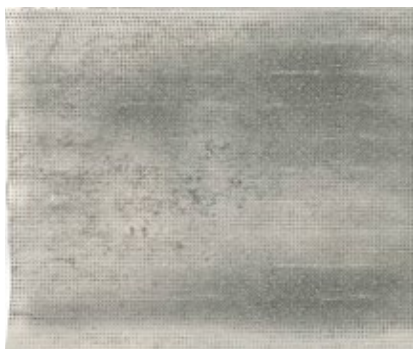
1. Корректно настроенное флюсование.



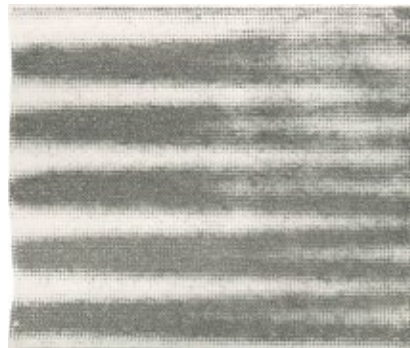
2. Недостаточное флюсование (приводит к непротеканию припоя в металлизированные отверстия).



3. Чрезмерное флюсование (приводит к избыточному количеству остатков флюса на печатной плате после пайки).



4. Неверные параметры флюсователя — неверно указана скорость распыления или смещение траектории (приводит к непротеканию припоя и избыточным остаткам флюса).



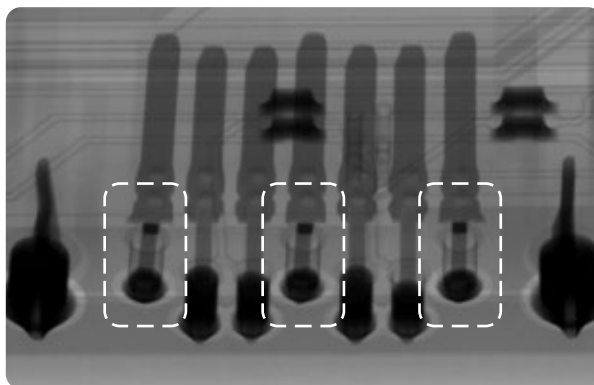
10.5.6 Возможные дефекты и методы их устранения

Давайте разберем возможные дефекты, причины их возникновения и способы, которыми можно их устранить.

Виды дефектов при волновой пайке

1. Недостаточное заполнение отверстия (протекание металлизированного отверстия не соответствует классу изделия по IPC-A-610 или требованиям заказчика)

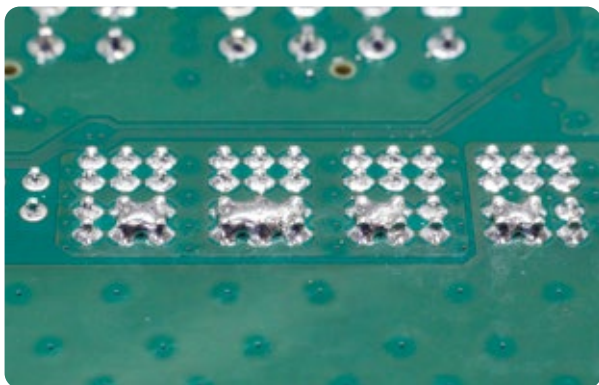
- 1.1 Температура припоя слишком низкая — необходимо увеличить температуру.
- 1.2 Загрязнение припоя — провести очистку ванны от шлама, проверить подачу азота (из-за недостаточной подачи на поверхности припоя образуется оксидная пленка), проверить чистоту форсунок волнообразователя.
- 1.3 Волна припоя неравномерная — проверить плоскостность тигля относительно печатной платы на конвейере, настроить мощность турбулентной и ламинарной волны согласно рекомендациям.
- 1.4 Температура предварительного нагрева слишком низкая — увеличить температуру в зоне предварительного нагрева или уменьшить скорость конвейера.
- 1.5 Недостаточное флюсование — проверить чистоту форсунок, проверить настройки параметров флюсования (скорость распыления и смещение траектории).
- 1.6 Недостаточное время контакта припоя с паяемыми поверхностями — уменьшить скорость конвейера, проверить время контакта волны припоя со стеклянной оснасткой, в случае недостаточного контакта отрегулировать высоту волны согласно рекомендациям.
- 1.7 Окисленные площадки, металлизированные отверстия или выводы компонентов — проверить компоненты, провести тест смачиваемости, использовать более активный флюс.



Недостаточное протекание припоя

2. Сосульки припоя и перемычки

- 2.1 Температура припоя слишком низкая — увеличить температуру.
- 2.2 Загрязнение припоя — провести очистку ванны от шлама, проверить подачу азота (из-за недостаточной подачи на поверхности припоя образуется оксидная пленка).
- 2.3 Волна припоя неравномерная — проверить плоскостность тигля относительно печатной платы на конвейере, настроить мощность ламинарной волны согласно рекомендациям.
- 2.4 Температура предварительного нагрева слишком низкая — увеличить температуру в зоне предварительного нагрева или уменьшить скорость конвейера.
- 2.5 Недостаточное флюсование — проверить чистоту распылительных форсунок, проверить настройки параметров флюсования (скорость распыления и смещение траектории).
- 2.6 Окисленные площадки, металлизированные отверстия или выводы компонентов — проверить компоненты, провести тест смачиваемости, использовать более активный флюс.
- 2.7 Чрезмерное время контакта припоя с паяемыми поверхностями — увеличить скорость конвейера, проверить ширину контакта припоя со стеклянной оснасткой, в случае отклонения отрегулировать высоту волны согласно рекомендациям.



Перемычки



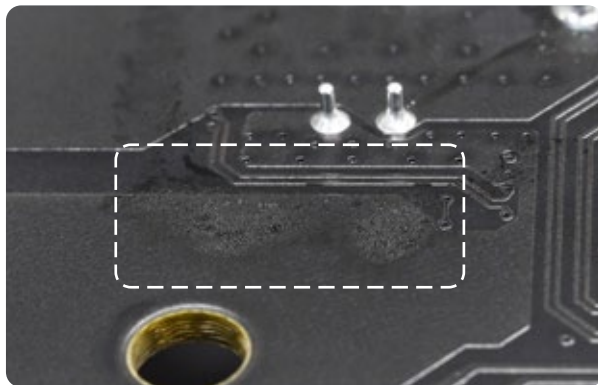
Шарики припоя

3. Шарики припоя

- 3.1 Температура предварительного нагрева слишком низкая — скорректировать температуру (уменьшить разницу температур между печатной платой перед пайкой и припоем).
- 3.2 Температура припоя слишком высокая — уменьшить температуру.
- 3.3 Волна припоя слишком высокая или неравномерная — подобрать высоту турбулентной и ламинарной волны в соответствии с рекомендациями.
- 3.4 Чрезмерный объем флюса на плате и местах пайки — скорректировать параметры флюсования (скорость распыления и дозу флюсования).
- 3.5 Скорость конвейера слишком высокая — уменьшить скорость.
- 3.6 Интенсивное испарение флюса при контакте с волной — уменьшить температуру волны припоя, увеличить скорость конвейера.
- 3.7 Чрезмерная турбулентность при стекании припоя в ванну, вызывающая разбрызгивание, — отрегулировать мощность подачи припоя.
- 3.8 Нарушение условий хранения печатных плат, из-за чего происходит дегазация печатной платы (резкое испарение жидкости из слоев печатной платы, выход пузырьков газа).

4. Избыточные остатки флюса

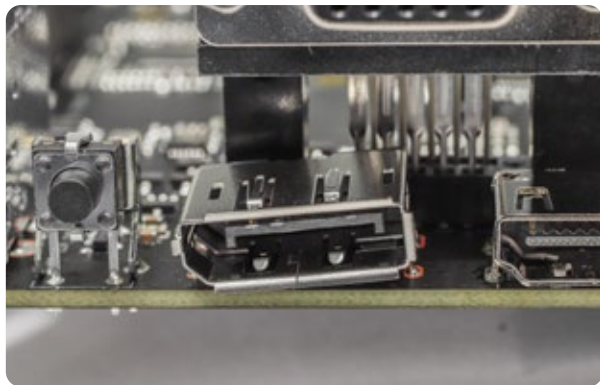
- 4.1 Температура предварительного нагрева слишком низкая — увеличить температуру в зоне предварительного нагрева или уменьшить скорость конвейера.
- 4.2 Недостаточное время контакта припоя с паяемыми поверхностями — уменьшить скорость конвейера, проверить время контакта при помощи стеклянной оснастки, в случае отклонения настроить высоту турбулентной и ламинарной волны согласно рекомендациям.



Избыточные остатки флюса

5. Приподнятый (некомпланарный) компонент

- 5.1 Несоответствие высоты волны припоя (волна припоя выталкивает компонент) — подобрать высоту турбулентной и ламинарной волны в соответствии с рекомендациями.
- 5.2 Неправильная длина выводов (выводы задевают край волнообразователя, компонент поднимается) — отформовать выводы согласно конструкторской документации.
- 5.3 Изгиб оснастки (защитной маски) — проверить надежность оснастки из дюростона, из-за недостаточной толщины дюростона происходит тепловое расширение материала и деформация.
- 5.4 Легкие компоненты поднимаются под воздействием турбулентной волны — проверить прижимы в крышке, разработать оснастку для удержания компонентов.

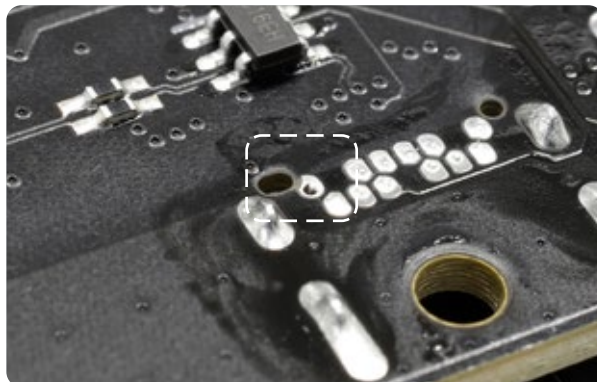


Приподнятый (некомпланарный) компонент

6. Недостаточное смачивание (галтель со стороны пайки не соответствует критериям качества согласно IPC-A-610)

- 6.1 Недостаточная высота волны припоя — отрегулировать высоту турбулентной и ламинарной волны согласно рекомендациям.
- 6.2 Избыточное/недостаточное флюсование — проверить чистоту распылительных форсунок, проверить настройки параметров

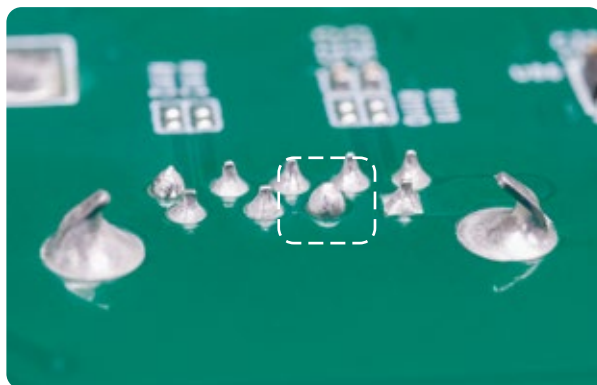
флюсования (скорость распыления и смещение траектории).



Недостаточное смачивание

7. Не просматривается вывод в паяном соединении

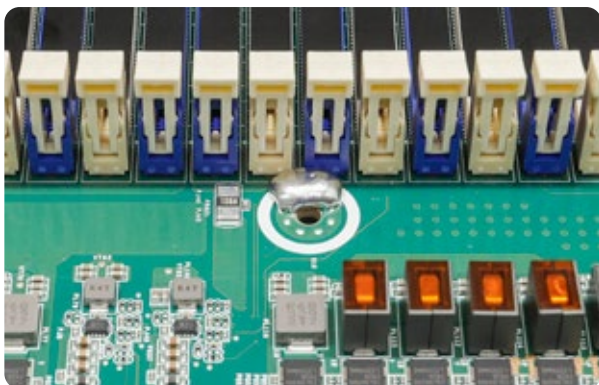
- 7.1 Недостаточное флюсование — проверить чистоту распылительных форсунок, проверить настройки параметров флюсования (скорость распыления и смещение траектории).
- 7.2 Чрезмерное время контакта припоя с паяемыми поверхностями — увеличить скорость конвейера, проверить ширину контакта припоя со стеклянной оснасткой, в случае отклонения отрегулировать высоту волны согласно рекомендациям.



Не просматривается вывод в паяном соединении

8. Залитие припоем печатной платы со стороны установки компонентов

- 8.1 Изгиб оснастки (защитной маски) — проверить надежность оснастки из дюростона, из-за недостаточной толщины дюростона происходит тепловое расширение материала и деформация. Из-за изгиба оснастки волна припоя попадает под маску и заливает припоем сторону пайки. Также из-за изгиба маски прогибается и сама печатная плата, сокращается расстояние между металлизированными отверстиями и волной, в результате этого волна переливается через отверстия и заливает припоем сторону установки компонентов.
- 8.2 Волна припоя неравномерная — проверить плоскостность тигля относительно печатной платы на конвейере, настроить мощность турбулентной и ламинарной волны согласно рекомендациям.



Залитие припоем печатной платы

9. Повреждение защитной маски печатной платы (оголение металлизации дорожек, отслоение маски)

- 9.1 Температура припоя слишком высокая — уменьшить температуру.
- 9.2 Чрезмерное время контакта припоя с маской печатной платы — увеличить скорость конвейера, проверить ширину контакта припоя со стеклянной оснасткой, в случае отклонения отрегулировать

высоту волны согласно рекомендациям.

- 9.3 Нарушения технологического процесса изготовления печатной платы — защитная маска платы не выдерживает требуемые температуры.

10.5.7 Исключения в использовании линии волновой пайки

На результат и возможность волновой пайки большое влияние оказывает топология печатной платы. Особенно это касается многовыводных компонентов, имеющих большое количество выводов, расположенных близко друг к другу, а также близкое расположение SMD-компонентов к выводным со стороны пайки.

Волновая пайка может быть использована в большинстве случаев, кроме следующих:

1. Неверная топология печатной платы, из-за чего защитная маска не может быть сконструирована по правилам.
2. Наличие компонентов, чувствительных к температурному режиму.
3. Конструктивные особенности оборудования и исполнительных деталей линии пайки волной.
4. Экономическая нецелесообразность (малый размер партии при высокой цене изготовления защитной маски).

10.6 Автоматическая оптическая инспекция выводного монтажа

Перед началом и после окончания селективной или волновой пайки проводится контроль качества установки и пайки выводных компонентов при помощи автоматической оптической инспекции.

На производствах НПО СтарЛайн используются два вида оптических инспекций:

1. Modus high tech electronics GmbH MLD 1200 IDY.



Modus MLD 1200 IDY

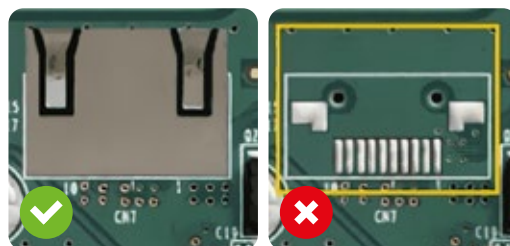
2. ViTrox Advanced robotic vision inspection system V9i FI.



ViTrox Advanced robotic vision inspection system V9i FI

Параметры, проверяемые перед пайкой на волновой или селективной линии:

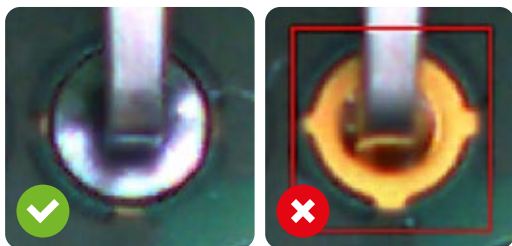
1. Наличие/отсутствие компонента.



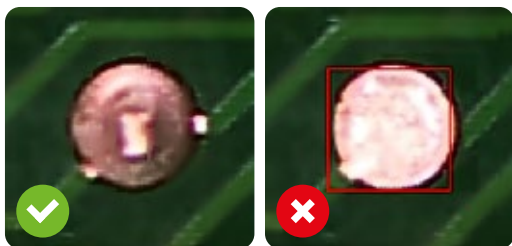
2. Правильность установки компонента в соответствии с конструкторской документацией (полярность).
3. Смещение компонента.
4. Компланарность.
5. Маркировка (символы, цифры, буквы).
6. Наличие механических повреждений у компонента.
7. Наличие выводов и их расположение в металлизированном отверстии.

Параметры, проверяемые после пайки на автоматизированных линиях выводного монтажа:

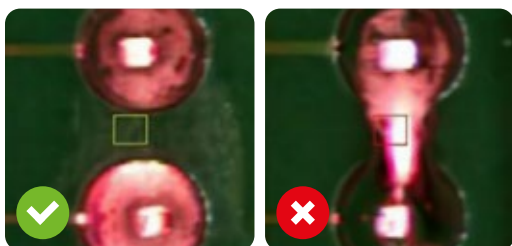
1. Качество паяного соединения со стороны установки компонента (протекание и смачивание припоем).



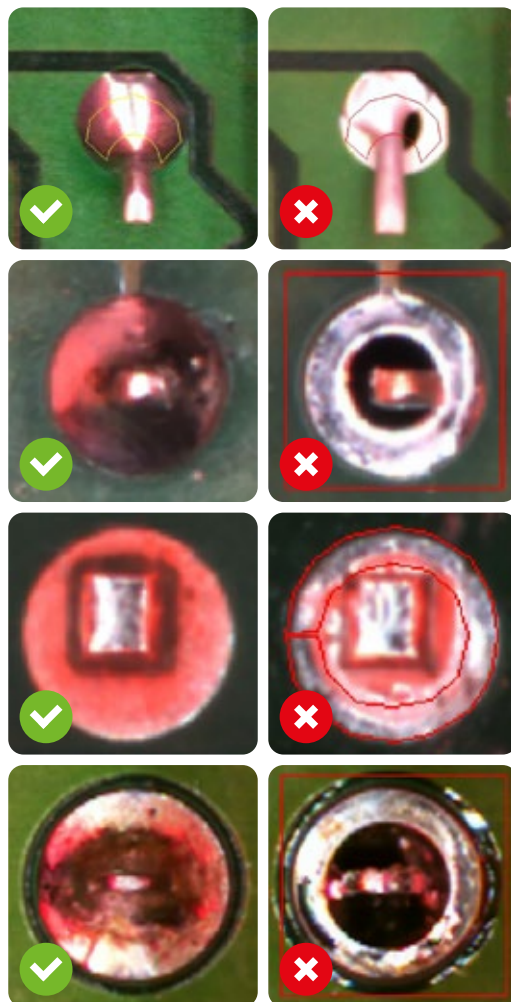
2. Наличие вывода и его расположение.



3. Проверка отсутствия перемычек.



4. Качество пайки выводов компонентов.



5. Проверка отсутствия шариков и паутинок припоя, а также других посторонних материалов.



6. Наличие SMD-компонентов рядом с паяными соединениями выводных компонентов.

Автоматическая система **Modus** является частью линии волновой или селективной пайки, осуществляет оперативный контроль качества установки и пайки выводных компонентов.

Проверка печатной платы осуществляется с двух сторон — со стороны установки компонентов и со стороны пайки. При помощи двух сканеров, расположенных сверху и снизу от печатной платы, формируется 2D-модель каждой из сторон.

Автоматическая инспекция Modus укомплектована ремонтными станциями, где отображаются результат проверки и точки, требующие доработки на участке ручного монтажа. Результаты инспекций с двух сторон платы хранятся в базе данных, идентификатором является 2D-код мультизаготовки.

По аналогии с остальными оптическими инспекциями присутствует функция снятия статистических данных.

Результаты автоматической оптической инспекции необходимы для:

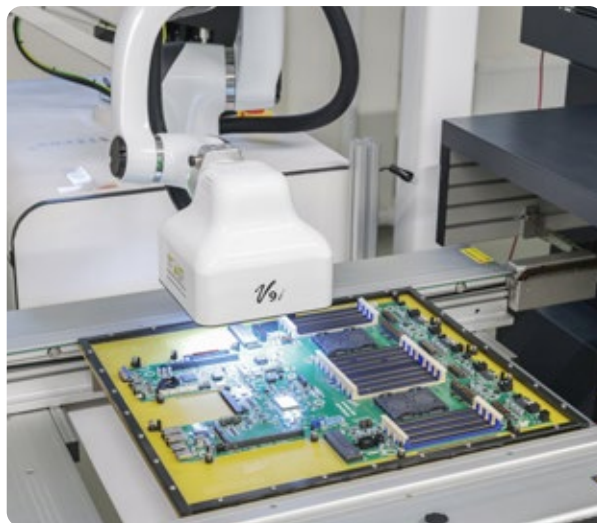
1. выявления повторяющихся (массовых) дефектов. Технолог выявляет коренные причины массовых дефектов и выполняет корректирующие действия, предотвращающие повторное появление дефекта при сборке изделия;
2. оценки постоянства качества продукта.

ViTrox V9i FI — это компактное оборудование для инспекции при помощи роботизированной руки. ViTrox V9i FI является мобильной системой проверки (не является частью производственной линии), которая при необходимости может перемещаться между линиями и осуществлять автоматическую оптическую проверку.

ViTrox V9i FI отличается от системы Modus тем, что проверка платы осуществляется с одной стороны, для проверки второй стороны необходим поворотный конвейер или ручное перемещение печатной платы.

Камера ViTrox V9i FI позволяет выполнять осмотр и фотофиксацию печатной платы под углом до 90°. Программа контроля самообучается на основе изображений эталонных изделий.

Система собирает изображения исследуемого объекта и сравнивает их с эталонными.



Проверка качества установки компонентов перед волновой пайкой при помощи ViTrox V9i FI

10.7 Технология Pin-in-Paste

Pin-in-Paste (PIP) технология — это процесс, при котором выводные компоненты устанавливаются на печатную плату на SMT-линии и запаиваются вместе с SMD-компонентами с использованием технологии оплавления.

Этапы PIP-технологии:

1. Паяльная паста продавливается в сквозные металлизированные отверстия.
2. Выводные компоненты автоматически устанавливаются в отверстия с паяльной пастой.

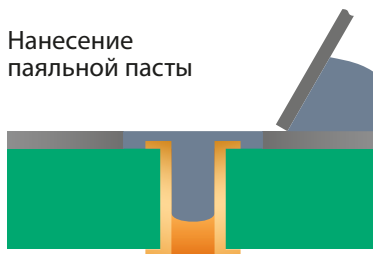
3. Паяльная паста оплавляется в отверстиях и образует надежное паяное соединение между стенками отверстия и выводом компонента.

Впервые технология Pin-in-Paste была применена в компании Motorola примерно в 1985 году, а в данный момент этот метод широко используется в современных высокотехнологичных производствах.

Установка
трафарета



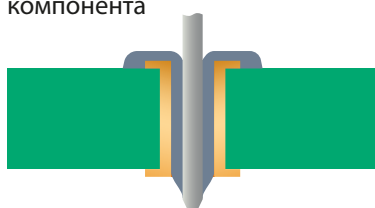
Нанесение
паяльной пасты



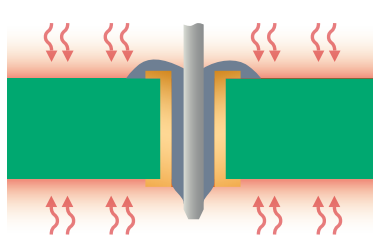
Отпечаток
паяльной пасты



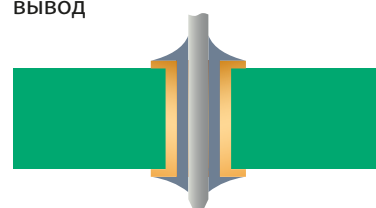
Установка
компонента



Пайка
оплавлением



Запаянный
вывод



Этапы PIP-технологии

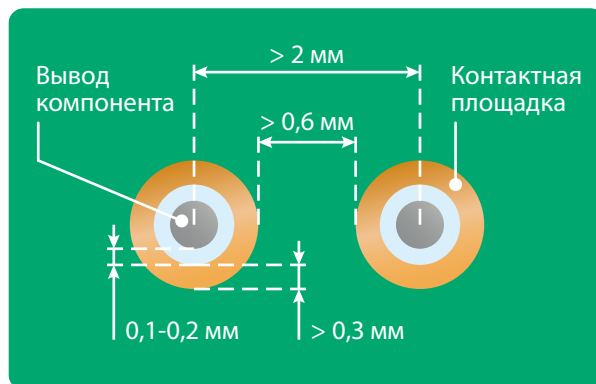
Преимущества PIP-технологии:

1. Высокая производительность и снижение производственных затрат.
При использовании PIP-технологии исключается этап пайки выводных компонентов на линиях волновой или селективной пайки, а также исключается использование ручного монтажа.
2. Устраняется возможность деформации печатной платы из-за дополнительных температурных воздействий.
Печатные платы в процессе сборки с использованием PIP-технологии проходят на один термический цикл меньше.
3. Заполнение металлизированных отверстий припоем согласно требованиям стандартов.
При использовании волновой или селективной пайки припой подается со стороны выводов компонентов. Верхняя сторона платы имеет более низкую температуру, чем нижняя, даже с учетом дополнительного нагрева в зоне пайки и в зоне преднагрева.
Тепло, поднимающееся снизу, рассеивается во внутренних теплоемких слоях (земляные слои), не позволяя верхней части корпуса достигать рекомендуемой температуры. Поскольку припой притягивается к теплу, то поток припоя частично перемещается к верхней стороне платы, поскольку она холоднее, что приводит к неполному заполнению металлизированного отверстия.
В процессе PIP заполнение металлизированного отверстия не зависит от внутренних теплоемких слоев, поскольку паста заполняет отверстие печатной платы, а сверху пасты устанавливается компонент, который под силой тяжести продавлиывает и распределяет пасту по всему отверстию. В печи оплавления происходит постепенный и равномерный нагрев платы, компонентов и паяльной пасты.

Результат PIP-технологии зависит от конфигурации сквозных отверстий, дизайна апертур в трафарете, формы выводов компонента и термопрофиля оплавления. Давайте подробнее разберемся в каждом из этих параметров.

Чтобы обеспечить надежную пайку с использованием PIP-технологии, при проектировании печатных плат следует соблюдать следующие рекомендации:

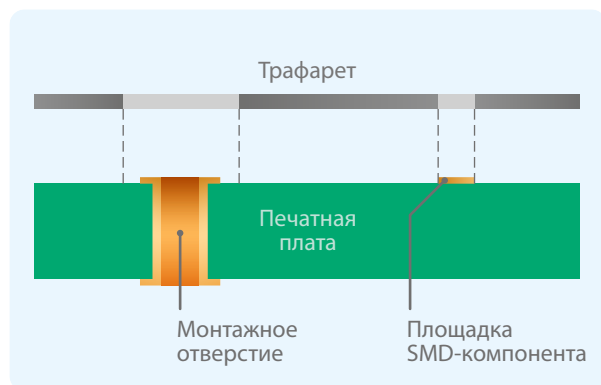
1. Вокруг компонентов для PIP-технологии должно сохраняться расстояние минимум 2 мм.
2. Если имеется несколько компонентов для PIP-технологии, то между соседними компонентами должно быть расстояние не менее 10 мм, чтобы гарантировать качественную автоматическую установку.
3. Расстояние между центрами соседних сквозных отверстий должно быть не менее 2 мм.
4. Расстояние между краями соседних площадок должно быть не менее 0,6 мм.
5. Расстояние между краем площадки и диаметром отверстия должно быть не менее 0,3 мм.
6. Диаметр металлизированного отверстия должен быть больше диаметра вывода компонента на 0,2–0,4 мм.



Рекомендации по проектированию металлизированных отверстий для PIP-технологии

Рекомендации по проектированию трафарета и настройке пастопечати для PIP-технологии:

1. Рекомендуется использовать технологию Overprint, при которой аперттуры в трафарете больше контактной площадки. Паяльная паста наносится за пределы контактной площадки, то есть на защитную маску. В процессе оплавления паста под действием сил смачивания и поверхностного натяжения перетекает с защитной маски на контактную площадку и в металлизированное отверстие.



Overprint-дизайн апертур для PIP-технологии

2. Процентное соотношение флюса в составе паяльной пасты приблизительно 50% (точная информация указана в технической документации паяльной пасты). После оплавления отпечатка объем паяного соединения составляет около 50% от объема отпечатка за счет испарения флюса и соединения шариков припоя в галтель.

Исходя из этого можно рассчитать требуемый объем паяльной пасты:

$$V_{\text{треб}} = (V_{\text{отв}} - V_{\text{в}}) \cdot 2,$$

$V_{\text{треб}}$ — требуемый объем паяльной пасты;

$V_{\text{отв}}$ — объем монтажного отверстия;

$V_{\text{в}}$ — объем вывода.

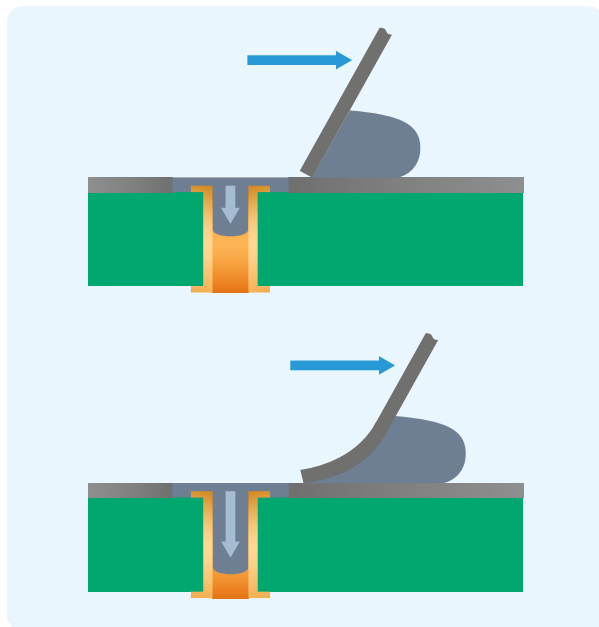
Тогда требуемая площадь аперттуры со стороны установки компонента:

$$S_{\text{апер}} = \frac{V_{\text{треб}} - (V_{\text{отв}} - V_{\text{в}})}{t_{\text{траф}}}$$

$S_{\text{апер}}$ — требуемая площадь аперттуры;

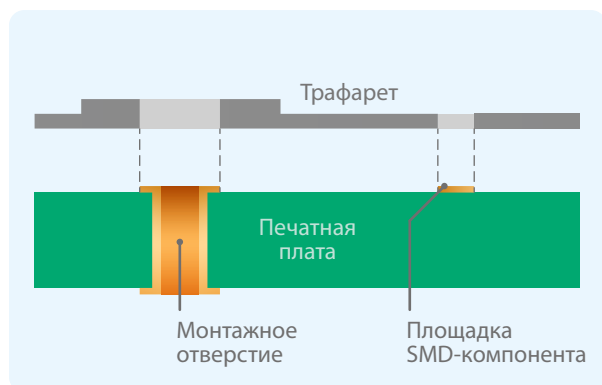
$t_{\text{траф}}$ — толщина трафарета.

3. Степень заполнения монтажных отверстий регулируется подбором параметров нанесения и вылета ракеля. Чем больше вылет ракеля, тем больше площадь соприкосновения ракеля и валика пасты, поэтому больше пасты попадает в сквозное отверстие.



Степень заполнения металлизированного отверстия паяльной пастой в зависимости от вылета лезвия ракеля

4. Использовать ступенчатый трафарет. При его использовании ступень проектируется под PIP-технологию для увеличения объема отпечатка паяльной пасты.



Трафарет со ступенью для PIP-технологии

Контроль качества нанесения паяльной пасты проводится визуально или при помощи рентгена, так как основная часть пасты находится в монтажном отверстии. Контролировать объем пасты при помощи автоматической инспекции (SPI) недостаточно. Если после оплавления отсутствуют дефекты пайки, достигнута повторяемость и стабильность процесса, значит дизайн трафарета и параметры процесса пастопечати выбраны верно.

Рекомендации к компонентам для PIP-технологии:

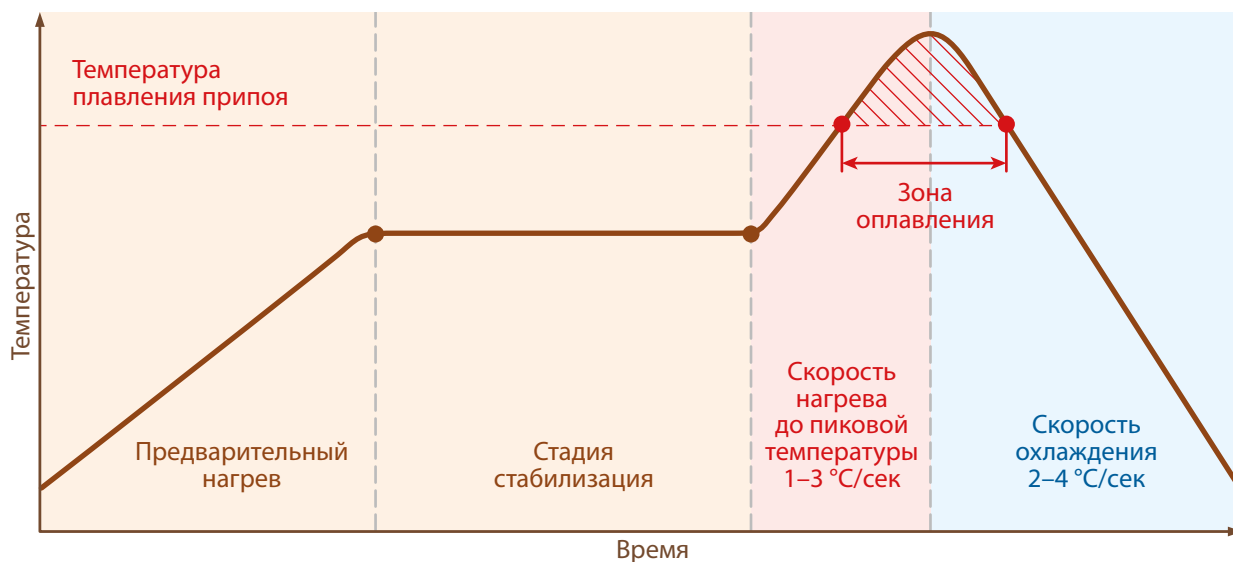
1. Компоненты должны выдерживать максимальную температуру в печи оплавления.

2. Корпуса компонентов не должны касаться пасты, т. е. должны возвышаться над печатной платой. Касание корпусом пасты может привести к возникновению шариков припоя и перемычек. У некоторых компонентов производителями предусмотрены специальные бортики, предотвращающие касание корпуса и пасты.
3. Вывод компонента не должен выступать с нижней стороны печатной платы более чем на 1,5 мм. В противном случае паста может не затечь в отверстие, сформировав каплю на конце вывода, или стечь в печь.

Настройки профиля в печи оплавления должны обеспечивать плавную и устойчивую передачу тепла к площадкам с SMD-компонентами и металлизированным отверстиям с выводными компонентами.

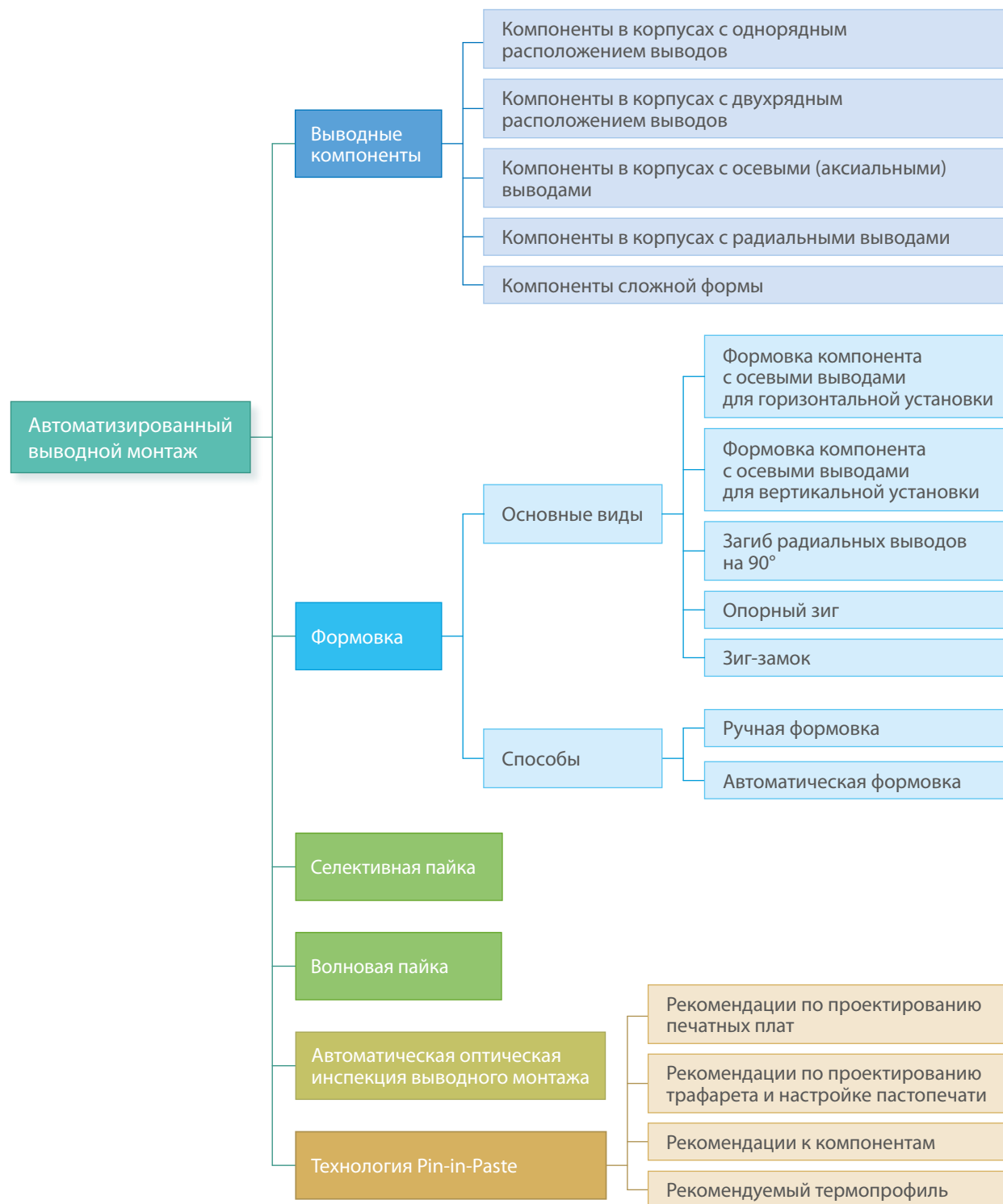
Рекомендуется скорость повышения температуры в пределах 1–3 °C после зоны стабилизации и до пиковой температуры, а также равномерное снижение температуры со скоростью 2–4 °C после зоны оплавления до завершения процесса пайки.

Соблюдение данных рекомендаций гарантирует качественное нанесение пасты и эффективное оплавление.

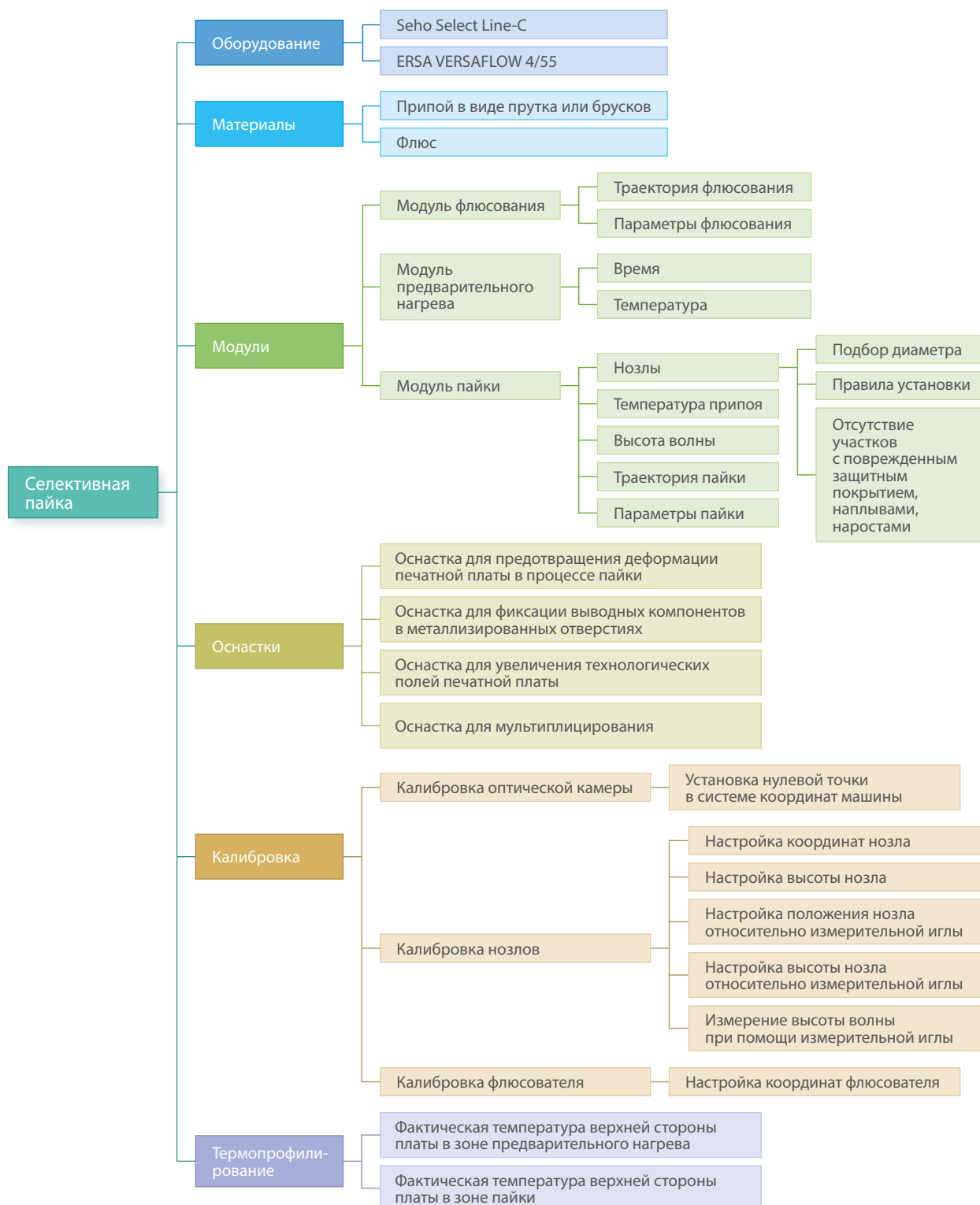


Термопрофиль для PIP-технологии

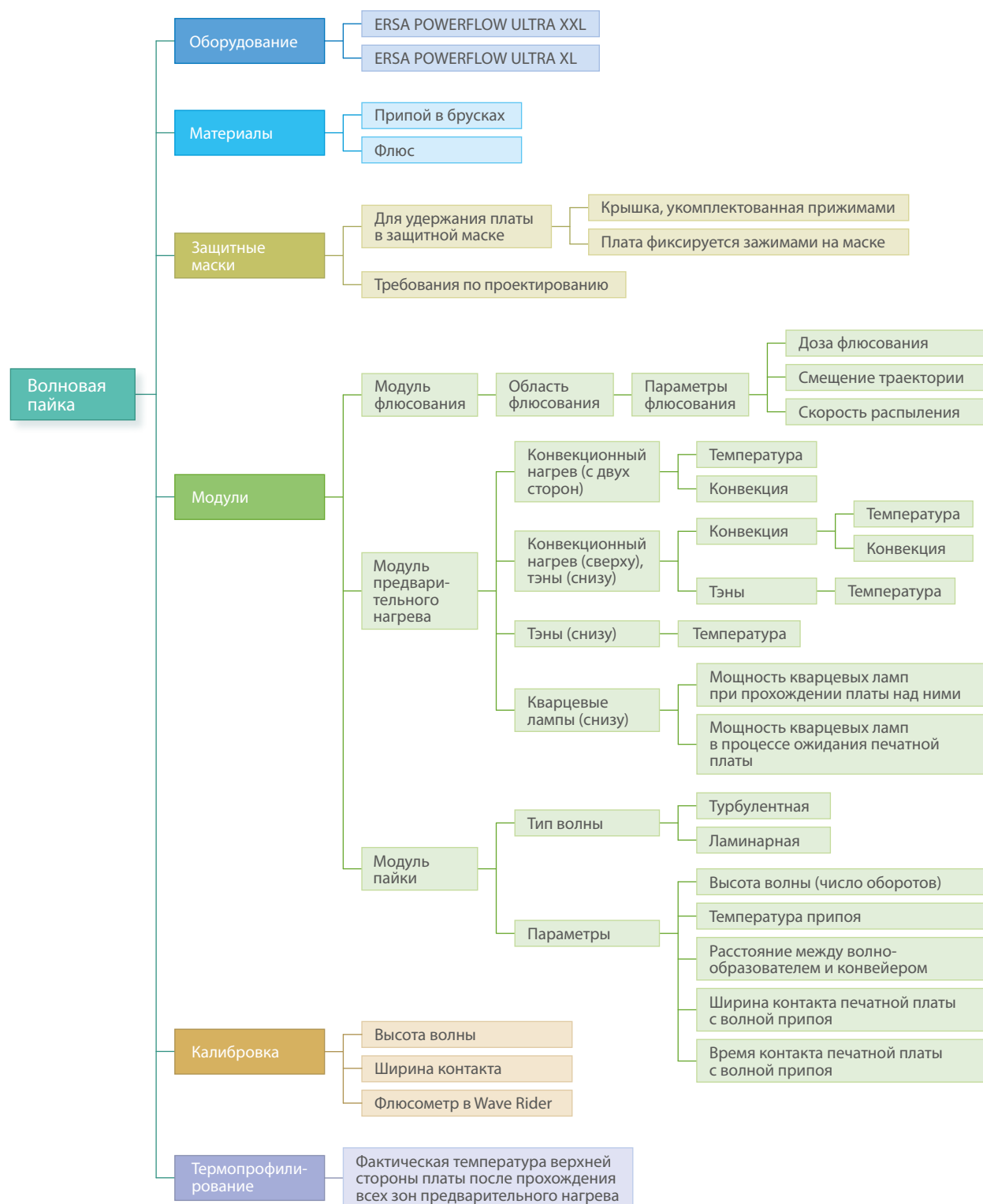
Автоматизированный выводной монтаж. Схема-памятка

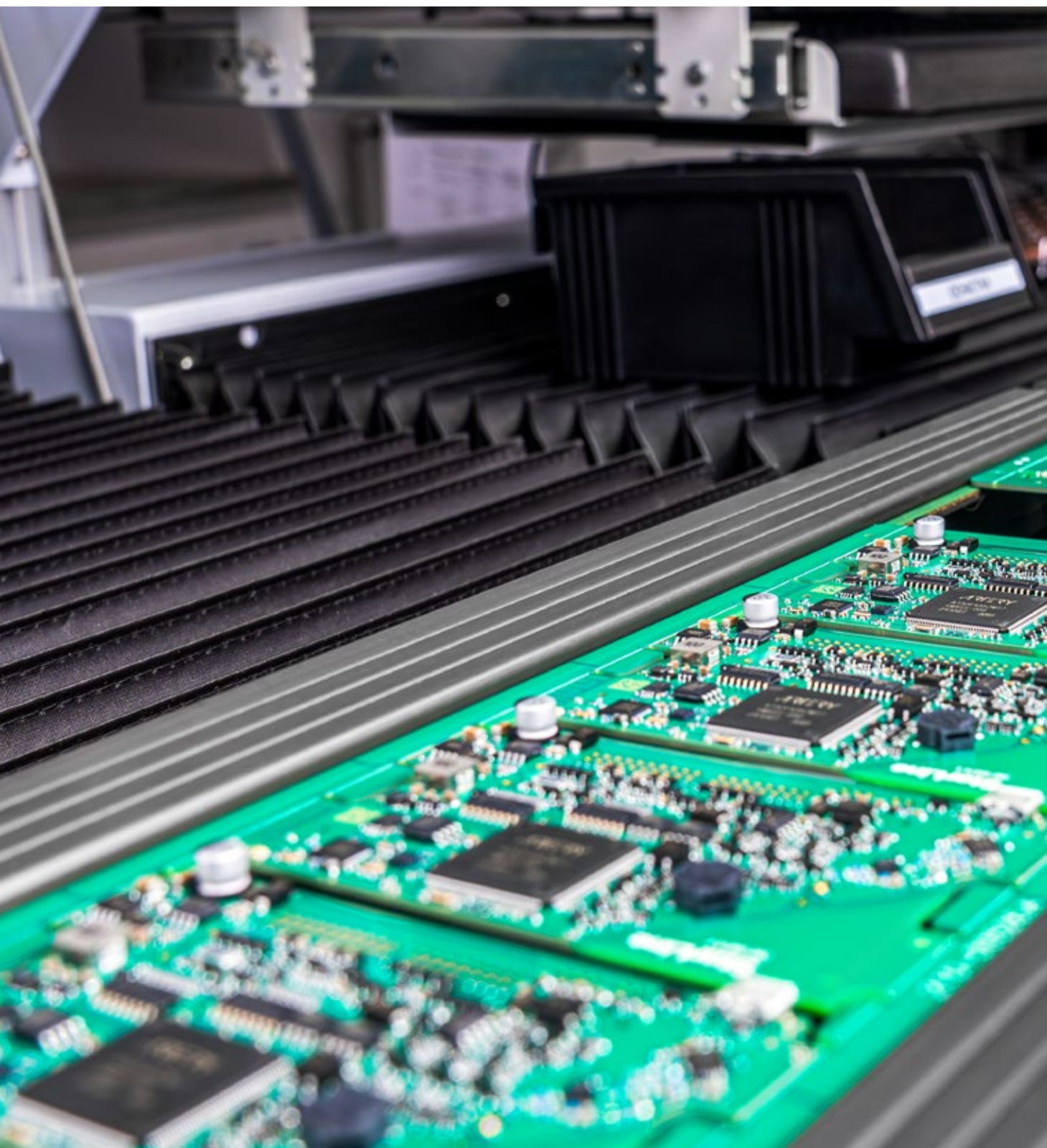


Селективная пайка. Схема-памятка



Волновая пайка. Схема-памятка





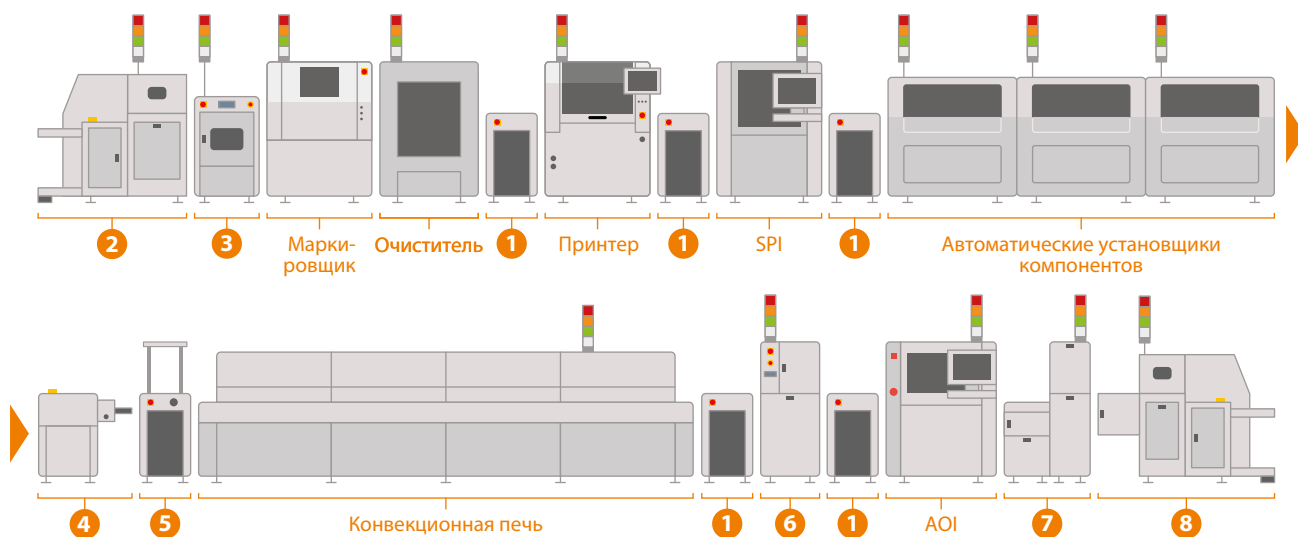


11

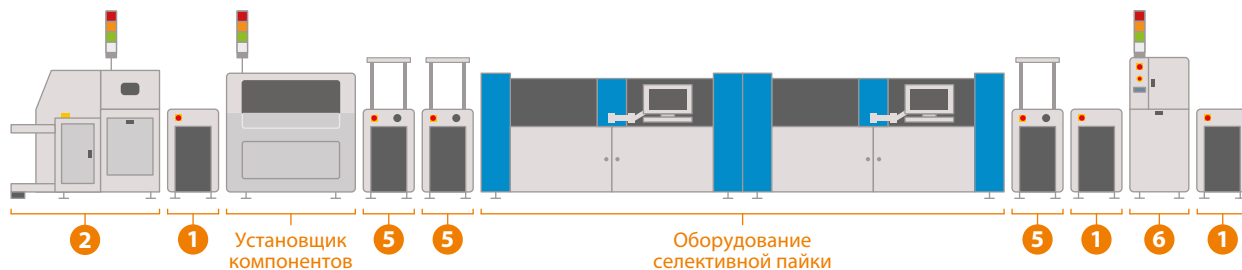
Конвейерное
оборудование

Конвейерное оборудование необходимо для:

1. Транспортировки (перемещения) печатных плат между исполнительным оборудованием (маркировщик, принтер, SPI, SMT-установщики, AOI, селективная пайка).
2. Буферизации печатных плат: накопление печатных плат в своей системе или с использованием специальных магазинов для хранения плат, а также для периодической выдачи плат из буфера на следующие операции.



Схематическое изображение SMT-линии



Схематическое изображение линии селективной пайки

Типы конвейерного оборудования на SMT-линии:

- 1 Конвейер-транспортер, создающий связи между оборудованием SMT-линии и линии селективной пайки.



- 2 Буфер, предназначенный для перемещения печатных плат из магазинной стойки на последующую машину с помощью пневматического толкателя. Данный буфер располагается на первой ступени линии поверхностного монтажа и линии селективной пайки. Необходим при сборке второй стороны изделия, когда платы, собранные с первой стороны, укомплектованы в магазины для хранения, или для подачи плат для селективной пайки.



- 3 Буфер, использующий вакуумную подушку для подачи печатных плат на последующее оборудование. Устанавливается в начале SMT-линии для подачи печатных плат из упаковки при сборке первой стороны изделия.



- 4 Перемещающийся конвейер-телескоп в середине SMT-линии, позволяющий операторам проходить через линию, не прерывая поток печатных плат.



- 5 Конвейер, который позволяет проводить визуальный контроль печатных плат до их транспортировки в конвекционную печь или в оборудование селективной пайки, а также проводить визуальный контроль качества сборки печатных плат после селективной пайки.



- 6 Башенный буфер, расположенный между машинами SMT-линии и линии селективной пайки для повышения эффективности работы за счет накопления плат. Используется перед оборудованием AOI и после машин селективной пайки.



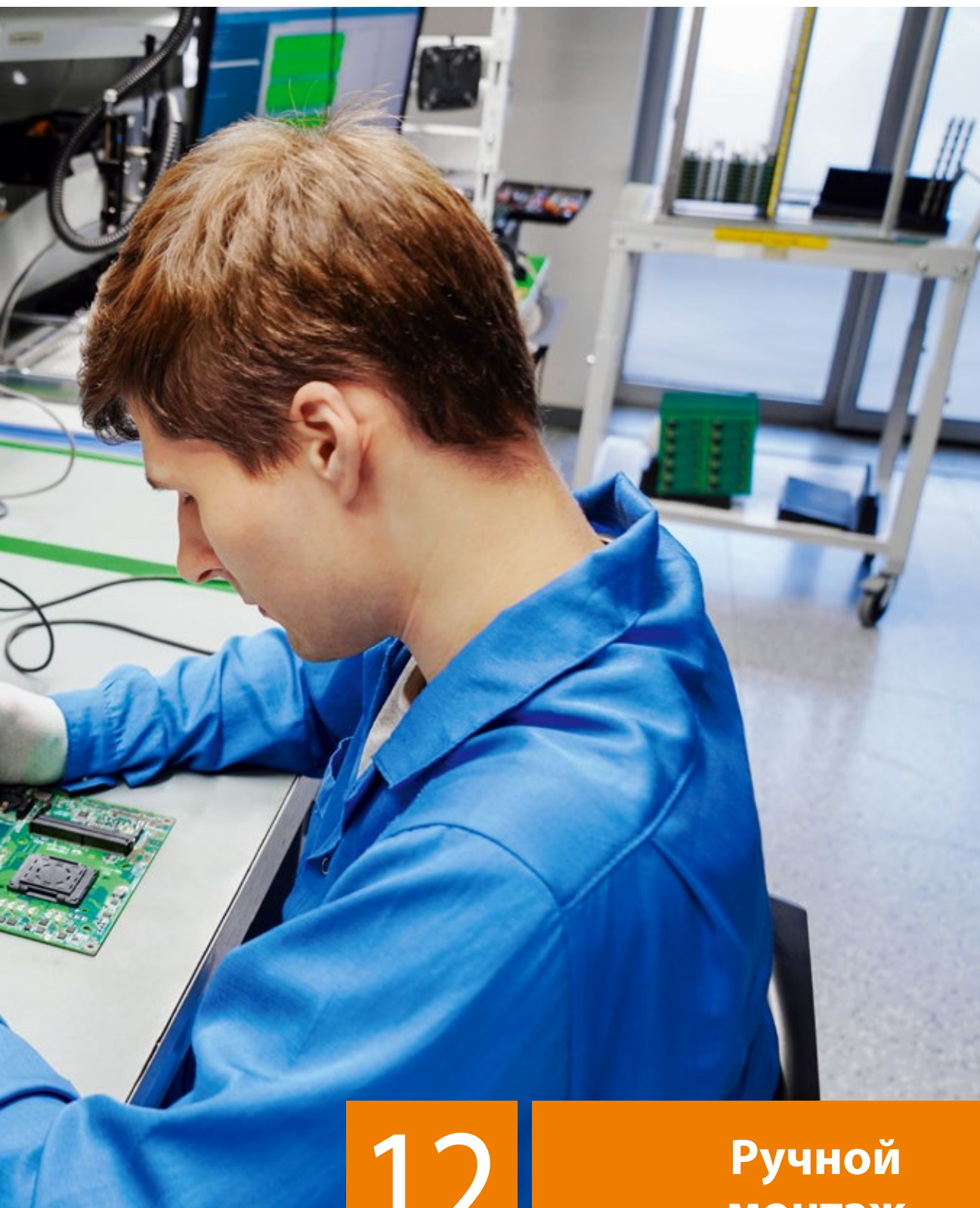
- 7 Магазинный буфер, обрабатывающий печатные платы в переменных режимах работы. Конвейер распределяет печатные платы после автоматической оптической инспекции (отделяет годные платы от плат, требующих доработки).



- 8 Конвейер-буфер, расположенный на последнем этапе SMT-линии. Данный блок укладывает запаянные и проверенные печатные платы в пустую магазинную стойку с помощью пневматического толкателя.







12

Ручной
монтаж

12.1 Основные понятия ручного монтажа

Ручной монтаж — это ручная установка и пайка компонентов к контактным площадкам на печатной плате с использованием специализированного оборудования и материалов.

Ручной монтаж применяется в следующих случаях.

1. Отсутствует возможность использовать автоматические системы, а именно:

1.1 Если компоненты не могут быть установлены на SMT-линии, так как рекомендуемый

температурный режим в печи превышает допустимую температуру воздействия на компонент согласно технической документации (Datasheet).

1.2 Если компоненты не могут быть установлены на THT-линии, так как:

- при прохождении нозла с волной припоя произойдет оплавление и смещение SMD-компонентов или корпусов выводных компонентов при двухстороннем сквозном монтаже из-за их близкого расположения к паяемым выводам;



Ручной монтаж



Близкое расположение выводов паяемых компонентов к корпусам выводных компонентов

- из-за наличия компонентов, чувствительных к температурному режиму (пластиковые элементы разъемов);
- из-за конструктивных особенностей оборудования и исполнительных деталей ТНТ-линии.

1.3 Если компоненты не могут быть установлены на линии волновой пайки, так как:

- устанавливаемый компонент чувствителен к температурному режиму (пластиковые элементы разъемов);
- из-за конструктивных особенностей оборудования и исполнительных деталей линии волновой пайки (например, ширины конвейера).

1.4 Если компоненты нельзя отмывать в автоматических системах согласно технической документации (Datasheet), а технологический маршрут изделия требует обязательной отмывки. В этом случае компоненты устанавливаются на участке ручного монтажа после автоматической отмывки платы, а места пайки отмываются локально.

1.5 При пайке кабельной сборки.

1.6 Из-за конструктивных особенностей компонента или посадочного места на плате.

2. Ручной ремонт (после линий автоматизированного монтажа компонентов).

Ручной ремонт — это дополнительная операция (отклонение) в технологическом процессе, связанная с устранением дефектов, выявленных на операциях контроля качества.

Дефекты фиксируются при помощи:

- автоматизированных систем: AOI, AOI Modus, внутрисхемный контроль (ICT), функциональный контроль;
- ручного контроля: визуальный, рентгеновский.

Напоминаем, что согласно «правилу 10-кратных затрат» стоимость ручного ремонта для производителя в 10 раз дороже, чем соблюдение рекомендаций.

Рекомендации технологии ручного монтажа и ремонта содержатся в IPC-7711B/7721B RU «Восстановление, модификация и ремонт электронных сборок».

Качество ручного монтажа и ремонта оценивается согласно IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок».

12.2 Оборудование, используемое на участке ручного монтажа

12.2.1 Паяльная станция

Паяльная станция — это комплекс специализированных инструментов для выполнения операций пайки электронных компонентов, кабельной сборки к печатной плате, гарантирующих прочность и долговечность паяных соединений.



Паяльная станция

Паяльная станция состоит из паяльника и электронного блока управления режимами работы.

Паяльник — это устройство, с помощью которого осуществляется расплавление припоя и нанесение его на место контакта вывода компонента и контактной площадки.

Паяльник состоит из следующих частей:

- 1 Жало паяльника.
- 2 Датчик температуры (находится внутри нагревательного элемента).
- 3 Нагревательный элемент.
- 4 Баррель (часть, фиксирующая жало к нагревательному элементу).
- 5 Ручка паяльника.
- 6 Провод с силиконовой изоляцией.
- 7 Коннектор для подключения к блоку управления.

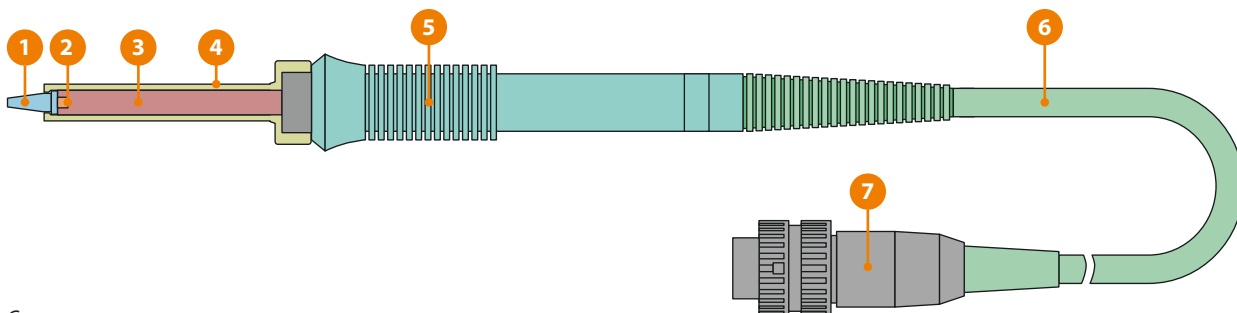


Схема паяльника

Принцип работы паяльника: керамический нагреватель накаляется от электрического тока и передает тепловую энергию жалу паяльника.

Паяльник является универсальным оборудованием, используется для пайки элементов с боковым расположением контактов (SOT, SOIC, SOD), пайки кабельной сборки, выводных компонентов (разъемы, штыри) и шлейфов.

Основное преимущество паяльной станции перед паяльником заключается в наличии **электронного блока управления режимами работы**.

Электронный блок управления режимами работы — это цифровой блок регулирования температурных режимов пайки.

Электронный блок управления обеспечивает:

1. Плавную и точную регулировку температуры.
2. Поддержание температуры в заданном диапазоне неограниченное время.
3. Защиту от перегрузок в сети.
4. Автоматическое отключение нагрева при длительном нахождении паяльника в подставке (увеличивает срок службы жала).

Паяльные станции принято делить по числу подключаемых паяльников на одно- и двухканальные. В состав двухканальной паяльной станции могут входить два паяльника или паяльник и термофен



Двухканальная паяльная станция

(питание осуществляется от одного блока управления).

Калибровка паяльных станций проводится раз в месяц техником по наладке оборудования при помощи тестера для паяльников Hakko FG-101. Калибровка и проверка паяльных станций необходима для подтверждения работоспособности оборудования (соответствие задаваемой температуры фактической).

На производствах НПО СтарЛайн используются паяльные станции:

1. Weller WT1 95W.
2. Weller WSD81.
3. Goot RX-802 AS.
4. Hakko FX-951.



А знаете ли вы, что существуют паяльники с аналоговым управлением?

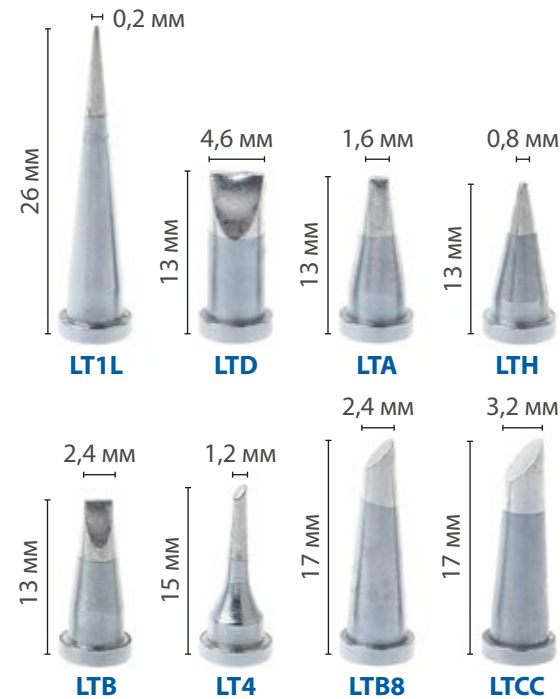
При использовании данных паяльников можно задать только диапазон температур, то есть в каждый момент времени температура паяльника колеблется в заданном диапазоне. Такой паяльник подходит для бытовых целей.



Паяльник с аналоговым управлением

12.2.2 Жало паяльника

Жало — сменный наконечник паяльника, при помощи которого осуществляется нагрев паяемых поверхностей.



Примеры жал

Таблица назначения жал:

Вид жала	Задачи монтажа				
	Сквозной (монтаж в отверстия)	SMD-чипов	SMD-компонентов с количеством выводов до 16 (SOIC, SOP)	SMD-микросхем (более 16 выводов)	Пайка кабельной сборки
Конус	✓	✓	○	○	○
Игла	✗	○	○	✓	✗
Отвертка	✓	✓	○	✗	○
Скос	✓	✓	✓	✗	✓
Волна	✓	✓	✓	✓	✓
Нож	✓	○	✓	○	○

✓ — рекомендуется ✗ — не рекомендуется ○ — допускается использование, если отсутствует рекомендуемое жало

Паяльники со сменными жалами — инструмент для выполнения качественного монтажа электронных компонентов. Жало паяльника может быть разной формы и размера для наилучшего контакта и передачи тепла к паяемым поверхностям.

Форма жала должна подходить к паяемым выводам компонента и контактными площадкам. Форма жала также должна обеспечивать наибольшую площадь контакта с выводом и площадкой для уменьшения времени выдержки при выполнении соединения.

Результаты оценки жал сведены в размещенную ниже таблицу, которая позволяет оценить возможности каждого жала для определенного типа ремонта.

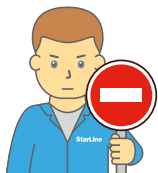
При ручной пайке важно содержать жало чистым и неокисленным, что не только увеличивает срок его службы, но и обеспечивает выполнение ручного монтажа в соответствии со стандартами.



Правила эксплуатации жала: перед тем как коснуться паяльником какого-либо соединения, необходимо очистить жало при помощи губки, смоченной деионизированной водой, металлической губки или обработать поверхность активатором жала (см. параграф 12.5).

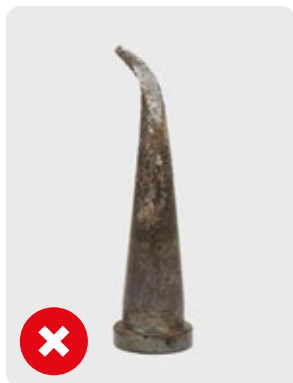
Виды жал паяльника:

Вид	Название	Изображение	Информация
Конус	LT-AS		Универсальное жало, рабочая часть выполнена в виде конуса длиной в несколько сантиметров с закругленной полусферой на конце. Недосток этого жала состоит в том, что расплавленный припой не стремится к равномерному распределению по сферической и конической поверхностям. Поэтому при пайке приходится вращать паяльник по оси, выбирая точку с достаточным количеством припоя. Не рекомендуется паять мелкие компоненты (0201, 0402), соизмеримые с размером самого сферического наконечника
	LT-F		
Игла	LT-S		По форме жало напоминает конус, только со значительно уменьшенными диаметрами как широкой, так и узкой частей конуса. LT-S предназначен для компонентов маленького размера (0201, 0402) и при большой плотности монтажа (компоненты расположены близко друг к другу). Минус — невысокая продуктивность из-за небольшой теплоемкости жала (маленькая площадь контакта). Поэтому малейшее охлаждение наконечника в момент пайки приводит к резкому падению температуры, из-за чего жало припаивается к детали
	LT-1LX		
Отвертка	LT-B		Форма жала близка к конусу, но на узкой части проточены две плоскости наподобие плоской отвертки. Эти плоскости существенно изменяют распределение и удержание припоя. На плоской площадке скапливается больше припоя, чем на сферической или конусной, поэтому паяльник не нужно постоянно вращать и набирать им припой. Таким жалом выполняется как пайка различных компонентов (SMD и THT), так и демонтаж
	LT-M		
	LT-AX		
Скос	LT-DD45		Форма — цилиндр или конус, как у «отвертки», но заточенная под углом 45°, плоскость только одна. Жало подходит для пайки SMD-компонентов и сквозного монтажа выводных компонентов. Жало выпускается в большом диапазоне размеров
	LT-BB45		
Волна	LT-GW1		Это продвинутая версия жала «скос». Отличается от последнего наличием на площадке скоса углубления, в котором собирается запас припоя. При пайке плоских ножек микросхем такое жало не образует перемычек: избыточный припой остается в углублении жала. Также им можно выполнять пайку выводных компонентов
	LT-GW2		
Нож	LT-KN		Форма этого жала напоминает сапожный нож в миниатюре. Обладает наибольшей из рассмотренных выше образцов теплоемкостью. Большая площадь заточенных плоскостей позволяет взять много припоя. Удобен при монтаже компонентов, требующих значительного количества припоя или тепловой энергии, например при пайке выводных разъемов, силовых компонентов и земляных площадок



Отклонение от рекомендаций в процессе эксплуатации жала приводит к «холодной пайке» или термоудару платы и компонентов, что вызывает повреждение компонентов или материала основания (диэлектрика) печатной платы.

Жало подлежит замене при физической деформации или выгорании.



Качественное жало и выгоревшее жало

12.2.3 Термофен

Термофен — оборудование для монтажа элементов с контактами под корпусом (компоненты QFN-, BGA-выводами, модули и т. д.) или компонентов небольшого размера.



Термофен

Термофен является бесконтактным оборудованием — нагрев элементов осуществляется локально потоком горячего воздуха.

Использование термофена также помогает упростить процесс пайки и снизить температуру жала паяльника, что исключает перегрев места пайки, срыв контактных площадок, повреждение маски, обугливание текстолита.

Существуют разные виды насадок для термофена, которые выбираются в зависимости от размеров паяемого компонента.



Диаметр насадки должен быть близок к размеру монтируемого/демонтируемого компонента или быть немного больше.



Насадки для термофена

На производствах НПО СтарЛайн используются:

1. Термовоздушная паяльная станция WHA 3000P.
2. Термовоздушная паяльная станция Hakko FR810B.

12.2.4 Термостол (площадка нижнего подогрева) с держателем для печатных плат

На держатель устанавливается печатная плата, которая равномерно нагревается во время работы площадки нижнего подогрева.

Термостол осуществляет постепенный нагрев, который предотвращает деформацию платы при точечном нагреве паяльником и не допускает повреждения компонентов и контактных площадок (термоудар).

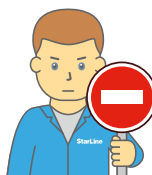
Предварительный нагрев также требуется, когда основным методом нагрева не позволяет за допустимое время нагреть все паяемые соединения до нужной температуры плавления. Это может происходить из-за наличия массивных компонентов (высокая теплоемкость), близкого расположения теплоотвода, элементов схемы и смежных компонентов.

Целью работы термостола является нагрев сборки (или ее части) до достаточной (но безопасной) температуры, при которой эффективность отвода тепла достаточно низкая, чтобы плавление припоя могло быть выполнено устройством основного нагрева (паяльная или термовоздушная станция) за допустимое время.

Этот процесс может также использоваться для демонтажа компонентов, монтируемых в отверстия, на тяжелых многослойных платах с внутренними слоями заземления. Нижний подогрев также необходим при ремонте печатных узлов с высокой теплоемкостью.



Рекомендации по использованию:
плата устанавливается в держатель, не повреждая компоненты с обратной стороны (сторона, не участвующая в пайке).
Рекомендуемая температура площадки нижнего подогрева составляет 200 °C.



Отклонение от рекомендаций ведет к механическому повреждению компонентов, термическому повреждению компонентов и/или печатной платы.

На производствах НПО СтарЛайн используются:

1. Площадка нижнего подогрева Weller WHP 3000.
2. Держатель печатных плат Weller WBHS.
3. Паяльная станция «Магистр Ц20-Т-6.0» (блок управления с термостолом).
4. Многоцелевая система подогрева и пайки печатных плат «Термопро ИК-650 ПРО».



Площадка нижнего подогрева Weller WHP 3000



Держатель печатных плат Weller WBHS

12.3 Дополнительное оборудование и инструменты

1. Дымоуловитель — оборудование, необходимое для вытяжки паров припоя и флюса, а также паров отмывочных жидкостей, образующихся в процессе ручного монтажа.



Дымоуловитель

2. Стриппер — инструмент для снятия изоляции с кабеля.



Стриппер



Снятие изоляции с кабеля при помощи стриппера

3. Оловоотсос — инструмент, предназначенный для удаления припоя с печатных плат в процессе демонтажа выводных компонентов.



Ручной оловоотсос

4. Вакуумный пинцет — инструмент, который производит захват радиоэлектронных компонентов и деталей.



Вакуумный пинцет



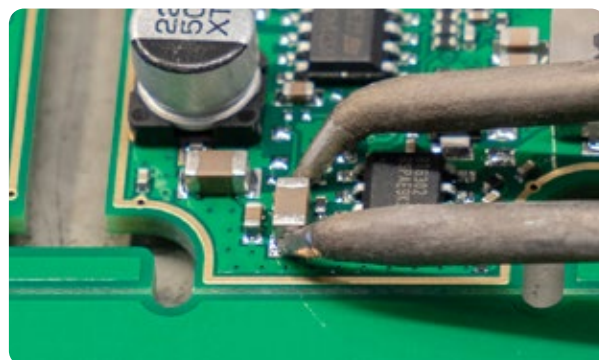
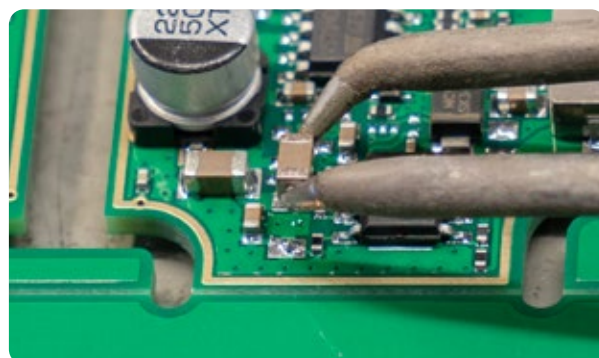
Установка компонента при помощи вакуумного пинцета

Пинцет захватывает корпус компонента за счет вакуума, что позволяет точно и аккуратно установить компонент на контактные площадки согласно конструкторской документации.

5. Термопинцет — это ручной инструмент для пайки мелких SMD-компонентов (0402, 0201) и чувствительных к температуре электронных компонентов (например, светодиодов).



Термопинцет



Пайка SMD-компонента при помощи термопинцета

12.4 Материалы

12.4.1 Трубчатый припой

Трубчатый припой — это сплав металлов в виде проволоки с флюсом внутри, который позволяет выполнять операции ручного монтажа.

Использование трубчатых припоев способствует дозированию подачи припоя и флюса к месту пайки, повышению производительности ручной пайки.

Трубчатый припой различается по диаметру проволоки:

0,3 / 0,5 / 0,8 / 1,0 / 1,5 / 2,0 / 2,5 / 3,0 / 3,5 мм.

Для трубчатых припоев используются сплавы, аналогичные сплавам паяльных паст (свинцовые и бессвинцовые трубчатые припои).

Рекомендации по выбору трубчатого припоя для ручного монтажа и ремонта:

1. Сплав припоя должен быть аналогичный сплаву, которым производилась основная пайка.
2. Флюс в составе трубчатого припоя должен быть совместим с флюсом, которым производилась основная пайка (степень активности и требования к отмывке).
3. Диаметр трубчатого припоя должен соответствовать размерам паяемого вывода и жала паяльника.

На производствах НПО СтарЛайн используются:

1. Бессвинцовые — Qualitek.
2. Свинцовосодержащие — Balver Zinn, Asahi.



Трубчатые припои

При транспортировке и хранении трубчатого припоя рекомендуется избегать локальных нагревов катушек припоя, что может привести к разжижению флюса и его стеканию — появлению областей с недостаточным количеством флюса.

12.4.2 Флюс-гель и флюс

Флюс-гели и флюсы используются на участке ручного монтажа в случае демонтажа и выгорания флюса из трубчатого припоя (в случае длительного контакта нагревательного элемента с паяемыми поверхностями).



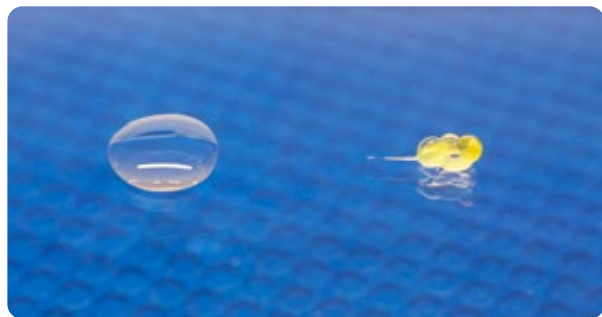
Флюс-гель и флюс

Тип применяемого флюса и флюс-геля должен подходить для используемого процесса пайки и быть совместим с процессами очистки и нанесения покрытий (лакировка, влагозащита), которые могут потребоваться.

В каких случаях применять флюс, а в каких флюс-гель?

Флюс-гель предназначен для поверхностного монтажа и демонтажа компонентов (флюс-гель устойчив к длительному нагреву). Флюс-гель более вязкий (густой) по сравнению с флюсом, поэтому гель не растекается по контактным площадкам, удерживает компонент на площадках за счет клейкости и поверхностного натяжения, а также помогает центровке компонентов на площадках при установке.

Флюс (на водной основе) предназначен для выводного монтажа. Флюс на водной основе из-за невысокой вязкости (более жидкий) проникает в металлизированные отверстия для монтажа,



Водная консистенция флюса и густая консистенция флюс-геля

поэтому использование флюса помогает добиться протекания припоя в отверстия.

Флюс-гель и флюс выполняют три основные функции:

1. Удаление оксидной пленки и обеспечение хорошей смачиваемости.
2. Эффективная передача тепловой энергии при пайке для быстрого и равномерного прогрева выводов.
3. Защита спаиваемых поверхностей от повторного окисления при воздействии высоких температур пайки.

Флюсы и флюс-гели для ручного монтажа классифицируются по материалам основания и активности аналогично флюсу в составе паяльной пасты (см. параграф 3.1.2).



Компоненты с негерметичными корпусами и подвижными частями можно паять с применением жидкого флюса. При использовании флюс-геля существует большая вероятность попадания флюс-геля под корпус, что приведет к неисправности компонента.

К таким компонентам относятся: звукоизлучатели, кнопки, микрофоны, переключатели, модули, тумблеры и т. д.

Флюс необходимо хранить при комнатной температуре в темном месте (отсутствует попадание солнечных лучей). Открытый контейнер с флюсом следует снова загерметизировать после вскрытия. Срок годности и условия хранения указаны в технической документации.

Флюс-гель необходимо хранить в оригинальной упаковке в промышленных холодильниках при температуре, указанной в технической документации производителя. Эта температура находится в диапазоне 4–12 °C в зависимости от выбранного производителя.

12.5 Вспомогательные материалы и оснастки

1. Очищающая губка используется для очистки жала паяльника от нагара, загрязнений и излишков припоя. Предварительно губка смачивается деионизированной водой.



Очищающая губка

2. Диспенсер используется для крепления катушки припоя. Позволяет дозировать количество припоя при пайке.



Диспенсер

3. Металлическая губка используется для очистки жала паяльника от нагара, загрязнений и излишков припоя.



Металлическая губка

4. Подставка паяльника используется для фиксации и удержания паяльника. Подставка оборудована выемкой для губки (мягкой и/или жесткой), предназначенной для очистки жала паяльника.



Подставка паяльника

5. Активатор жала используется для восстановления окисленной поверхности жала паяльника. После его использования необходимо очистить поверхность жала от остатков активатора при помощи губки, смоченной деионизированной водой.

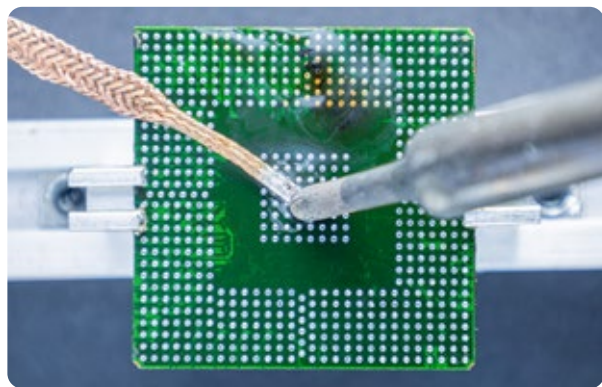


Активатор жала

6. Оплетка (демонтажная лента) — это множество тонких переплетенных медных проволочек, покрытых флюсом.

Оплетка используется для удаления излишков припоя в процессе пайки или при демонтаже компонентов.

Принцип действия: оплетку прижимают паяльником к месту, откуда нужно удалить припой. Припой под действием капиллярных сил всасывается в оплетку.

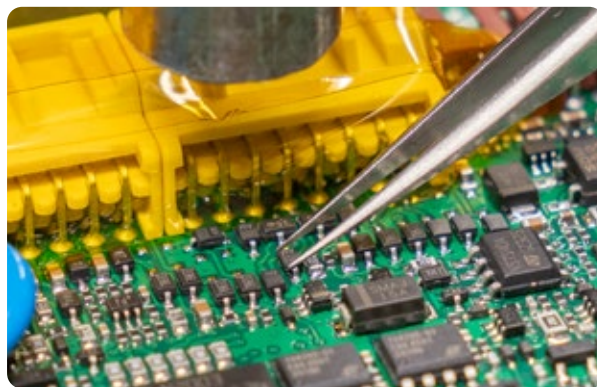


Удаление припоя при помощи оплетки

7. Термостойкий скотч — это изоляционный (отделочный) материал, способный длительное время выдерживать тепловое воздействие (высокотемпературный нагрев до 400 °C). Необходим для защиты компонентов, не участвующих в процессе ручной пайки, и корпусов паяемых компонентов, чувствительных к температурному воздействию.



Термостойкий скотч



Защита корпуса компонента от оплавления с помощью термостойкого скотча

12.6 Общие рекомендации по технологии ручного монтажа

Рекомендации по технологии ручного монтажа включают выбор оптимального процесса ручной сборки и зависят от многих факторов.

Все процессы и связанное с ними оборудование имеют свои преимущества и меры предосторожности для конкретной ситуации по монтажу или демонтажу компонента.

Выбор технологии монтажных работ включает в себя оценку следующих параметров:

1. Вид компонента:
 - Чувствительность компонентов к температуре (максимально допустимая температура согласно технической документации).
 - Тип выводов (контактов).
 - Конструкция корпуса.
 - Габаритные размеры.
 - Необходимость формовки выводов компонента, обрезки выводов согласно конструкторской документации.
 - Полярность и номинал.
2. Высота установки компонента над платой.
3. Необходимость отмычки после операции ручного монтажа.
4. Тип диэлектрика печатной платы (текстолит, керамика и т. д.).
5. Место установки компонента:
 - Теплостойкость печатного узла.
 - Ближайшие компоненты (соблюдение

минимального электрического зазора).

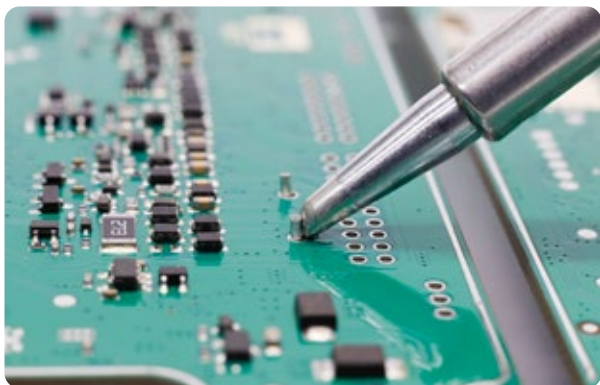
- Плотность монтажа (доступность компонента и паяных соединений).
6. Вид операции: монтаж или демонтаж компонента.
 7. Выбор оборудования (паяльная станция, термовоздушная паяльная станция, площадка нижнего подогрева, термопинцет).
 8. Подбор материала (флюс, трубчатый припой).
 9. Подбор вспомогательного оборудования.
 10. Критерии качества паяного соединения (согласно классу изделия по IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок» и конструкторской документации).
 11. Техника безопасности при проведении монтажных работ.

12.6.1 Рекомендации по пайке с использованием паяльной станции

Для того чтобы пайка при помощи паяльной станции соответствовала стандартам, рекомендуется использовать следующий процесс:

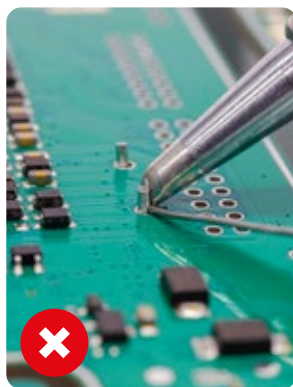
1. Поднесите жало паяльника к рабочей поверхности. Жало паяльника должно контактировать одновременно с контактной площадкой платы и выводом компонента, для того чтобы прогреть обе паяемые

поверхности. Необходимо около 1 секунды, чтобы прогреть соответствующим образом обе поверхности.



Контакт жала паяльника с контактной площадкой и выводом компонента

2. Поднесите пруток припоя с обратной стороны жала к месту соединения вывода и площадки для образования галтели. Для этого необходимо около 0,5 секунды.

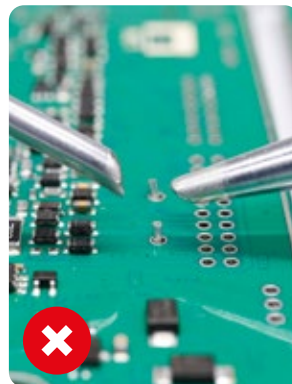
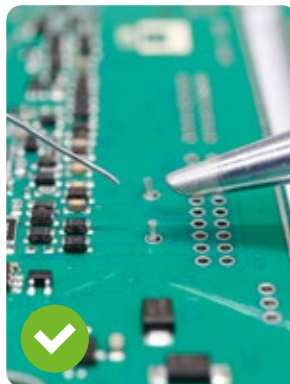


Правильная и неправильная подача припоя



Важно правильно подобрать диаметр прутка припоя и соблюдать правила его подачи.

- Не подавайте избыточное количество припоя на паяное соединение. Это может привести к увеличению количества остатков флюса и ухудшению внешнего вида изделия.
- Рекомендуется выбирать диаметр прутка припоя равным половине диаметра жала паяльника.



Верно и неверно подобранный диаметр прутка припоя

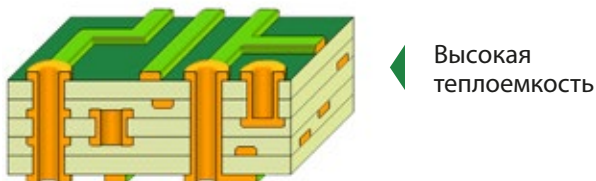
- Если припой подавать непосредственно на жало паяльника, активные компоненты флюса будут преждевременно выгорать, и его эффективность резко уменьшается.

12.6.2 Выбор температурных режимов

Выбор температурных режимов зависит от теплоемкости печатной платы: чем она выше, тем больше требуется температура и время пайки (в рекомендуемом диапазоне).

Определить повышенную теплоемкость места пайки можно по следующим параметрам:

1. Наличие токопроводящих дорожек к паяному соединению.
2. Теплоемкость монтируемого/демонтируемого компонента и/или наличие рядом стоящих теплоемких компонентов.
3. Количество слоев печатной платы.



Зависимость теплоемкости от количества слоев печатной платы

4. Принадлежность монтажного отверстия/площадки к теплоемкому **полигону** и отсутствие **термобарьеров** вокруг него.

Полигон — это большая по площади металлизированная (медная) область платы.

Термобарьер — области вокруг вывода, благодаря которым уменьшается отток тепла от контактных площадок во время пайки.



Термобарьер

Общие правила, как визуально можно определить теплоемкость контактных площадок и монтажных отверстий в зависимости от дизайна платы:

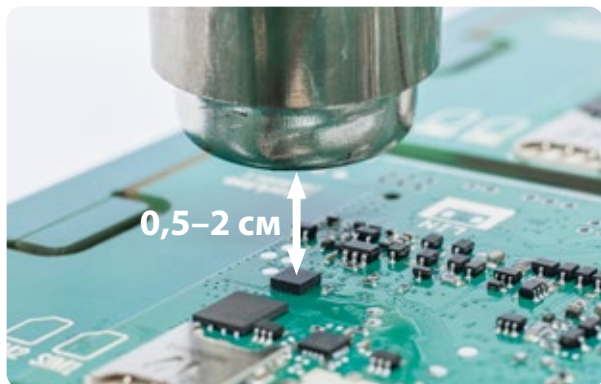
1. Низкая теплоемкость — у монтажных отверстий или контактных площадок, не связанных с токопроводящими дорожками (крепежные отверстия или площадки).
2. Средняя теплоемкость — у площадок или монтажных отверстий, к которым подходит токопроводящая дорожка.
3. Высокая теплоемкость — у площадок и монтажных отверстий, расположенных на полигоне.



Зависимость теплоемкости от дизайна печатной платы

12.6.2.1 Пайка при помощи термофена

Правила использования термофена: термофен подносится на расстоянии **0,5–2 см** от компонента, нагрев и пайка осуществляются при помощи круговых движений термовоздушной станции над паяемым компонентом (выводами).



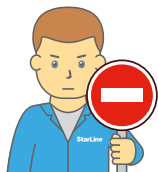
Рекомендованное расстояние между термофеном и компонентом

Выбор температурных режимов термовоздушной станции зависит от типа припоя:

1. Для свинцовых припоев **320–360 °C**.
2. Для бессвинцовых припоев **340–380 °C**.

Время воздействия:

1. **Для свинцовых припоев:** 5–6 секунд с использованием термостола, 10–12 секунд без него.
2. **Для бессвинцовых припоев:** 8–10 секунд с использованием термостола, 12–16 секунд без него.



Несоблюдение рекомендаций ведет к смещению паяемого компонента относительно контактных площадок потоком горячего воздуха или к смещению соседних компонентов. Также нарушение рекомендаций ведет к термическому повреждению компонента и печатной платы.

Также выбирается режим работы термофена, который влияет на скорость потока воздуха (скорость нагрева). Режим выбирается в диапазоне согласно технической документации на каждое оборудование.

12.6.2.2 Пайка при помощи паяльной станции

Весь процесс пайки должен занимать **от 0,5 до 2,0 секунды** на одно паяное соединение в зависимости от массы, температуры и конфигурации жала паяльника, а также паяемости поверхности.

При работе со свинцовыми трубчатыми припоями температура жала паяльника составляет **300–400 °C** в зависимости от выбранного производителя трубчатого припоя и указывается в технической документации (Datasheet).

Для большинства задач при работе с бессвинцовыми припоями оптимальная температура жала паяльника составляет **370–425 °C**.

Последствия превышения времени пайки или температуры:

1. Истощение компонентов флюса, отвечающих за снятие окислов, из-за чего может произойти полное или частичное несмачивание.
2. Увеличение количества остатков флюса.
3. Увеличение хрупкости паяного соединения.
4. Термическое повреждение компонентов и печатной платы.

12.7 Технология ручного монтажа

Рассмотрим технологию ручного монтажа для трех основных групп:

1. Пайка кабельной сборки.
2. Выводной монтаж.
3. Поверхностный монтаж.

12.7.1 Пайка кабеля / кабельной сборки

Кабельная сборка — изделие, состоящее из нескольких кабелей. Кабель состоит из медных или алюминиевых токопроводящих жил, защищенных изоляцией (защитная оболочка).



Кабельная сборка

12.7.1.1 Подготовка кабеля / кабельной сборки

Подготовка кабеля к пайке состоит из нескольких этапов:

1. Зачистка кабеля производится дополнительным инструментом — стриппером (см. параграф 12.3). Длина очистки определяется конструкторской документацией.
2. Токопроводящие жилы скручиваются, залуживаются вручную или при помощи паяльной ванны.



Этапы подготовки токопроводящих жил

3. Удаляются остатки флюса с залуженных жил.

12.7.1.2 Рекомендации по монтажу кабеля / кабельной сборки

Последовательность действий

1. **Лужение жил кабельной сборки (в случае необходимости).**
2. **Выбор способа монтажа: пайка в монтажные отверстия (выводной монтаж) или поверхностный монтаж.**

2.1 Пайка в монтажные отверстия:

- Выполнить формовку кабеля согласно конструкторской документации (в случае необходимости).
- Установить кабельную сборку в монтажные отверстия в соответствии с конструкторской документацией (распиновка кабельной сборки согласно цветовой индикации).
- Запаять последовательно при помощи паяльной станции. Температура жала паяльника 300–350 °С (свинцовый припой) и 320–370 °С (бессвинцовый припой), время контакта 2–3 секунды.
- Выполнить подрезку выводов согласно конструкторской документации и/или классу изделия по IPC-A-610.

2.2 Поверхностный монтаж:

- Расположить жилы согласно конструкторской документации.
- Отцентрировать жилы кабельной сборки относительно контактных площадок.



Пайка кабельной сборки

- Запаять последовательно при помощи паяльной станции. Температура жала паяльника 300–350 °С (свинцовый припой) и 320–370 °С (бессвинцовый припой), время контакта 2–3 секунды.

2.3 Очистить паяное соединение.

- #### 2.4 Проверить качество паяного соединения (согласно конструкторской документации и/или классу изделия по IPC-A-610).

12.7.2 Выводной монтаж

Выводной монтаж — это метод монтажа электронных компонентов на печатную плату, при котором выводы компонентов устанавливаются в монтажные (сквозные) отверстия платы и припаиваются к контактным поверхностям.

12.7.2.1 Процесс монтажа выводных компонентов

Общая последовательность действий при монтаже выводных компонентов

1. Подготовка площадки (в случае необходимости):

- Удаление старого припоя. Эта операция может быть выполнена при помощи паяльника и оплетки или паяльника и оловоотсоса.
- Очистка контактных площадок. На данном этапе производится удаление остатков старого флюса, проступившего наружу после удаления старого припоя.

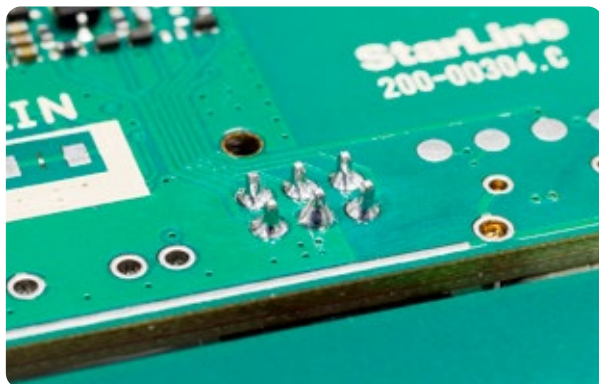
2. Процесс монтажа:

- Выполнить формовку (см. параграф 10.2) и подрезку выводов компонента согласно конструкторской документации.
- Установить новый компонент в отверстие печатной платы согласно конструкторской документации, соблюдая полярность компонента.

- Нанести флюс на металлизированные отверстия и выводы.
- При необходимости произвести предварительный подогрев печатного узла и/или компонента.
- Запаять выводы компонента по диагонали при помощи паяльной станции.
- Очистить жало паяльника (при необходимости).
- Произвести пайку остальных выводов **индивидуальным** или **групповым методом** при помощи паяльной станции согласно рекомендациям.
- Очистить паяное соединение.
- Проверить качество паяного соединения (согласно конструкторской документации и/или классу изделия по IPC-A-610).

Индивидуальный метод пайки — это поочередная пайка каждого вывода компонента. Жало паяльника прислоняется к каждой контактной площадке и добавляется трубчатый припой в паяное соединение, далее паяльник отрывается от контактной площадки и переходит к следующей площадке.

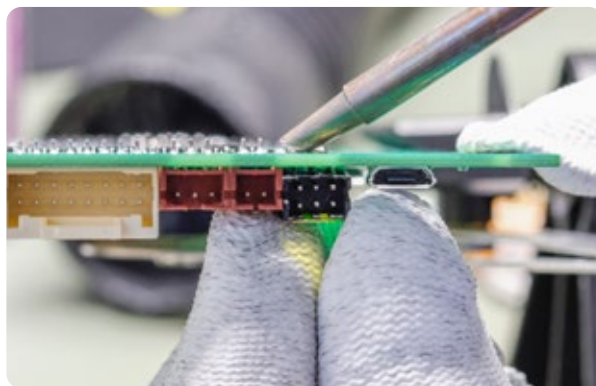
Групповой метод пайки — это пайка каплей припоя (волной). Для этого необходимо прислонить жало паяльника к контактной площадке и добавить припоя с избытком. Далее, не отрывая паяльник, провести его к следующему контакту, добавляя припой.



Выводной монтаж

12.7.2.2 Процесс демонтажа выводных компонентов

Демонтаж компонентов — это снятие (выпаивание) компонентов из металлизированных отверстий.



Демонтаж выводных компонентов

Варианты выполнения демонтажа

1. Демонтаж компонентов с малым количеством выводов (1–6) при помощи паяльной станции:

- При помощи паяльника и трубчатого припоя создать перемычку между всеми выводами.
- Прогреть паяльником все выводы (одновременно).
- Демонтировать разъем.
- Пропаять контактные площадки монтажных отверстий со всех сторон.
- Очистить монтажные отверстия от припоя.
- Произвести локальную отмывку.

2. Демонтаж при помощи термовоздушной паяльной станции (количество выводов более 6):

- Защитить рядом стоящие компоненты и сам демонтируемый компонент с помощью термостойкого скотча (при необходимости).
- Нанести флюс со стороны пайки компонента (выводов).

- Расположить плату на термостоле и дождаться ее прогрева.
- Поднести сопло (насадку) термофена к контактным площадкам с установленными выводами (на расстоянии 0,5–2 см) и круговыми движениями нагреть припой.
- После расплавления припоя демонтировать разъем.
- Пропаять контактные площадки монтажных отверстий со всех сторон.
- Очистить монтажные отверстия от припоя.
- Произвести локальную отмывку.

Одним из этапов демонтажа выводных компонентов является очистка металлизированных отверстий от припоя.

Варианты выполнения очистки

1. С использованием оловоотсоса:

1. Нагреть паяльником или термофеном отверстие.
2. Прислонить наконечник оловоотсоса к жалу.
3. Резким движением заменить жало паяльника оловоотсосом и нажать на кнопку пуска.



Очистка металлизированных отверстий от припоя при помощи оловоотсоса

2. С использованием оплетки:

1. Нагреть паяльником или термофеном отверстие.
2. Прижать оплетку паяльником к месту, откуда нужно удалить припой. Припой под действием капиллярных сил всасывается в оплетку.



Очистка металлизированных отверстий от припоя при помощи оплетки

12.7.3 Поверхностный монтаж

В данной главе мы рассмотрим процесс пайки SMD-компонентов к контактным площадкам при использовании ручного монтажа.

12.7.3.1 Монтаж SMD-компонентов с двумя выводами (пассивные компоненты)

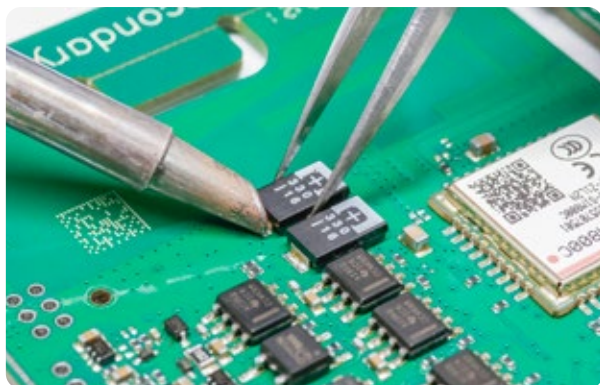
Общая последовательность поверхностного монтажа

1. Подготовка площадки (в случае необходимости):

- Удаление старого припоя. Эта операция может быть выполнена при помощи паяльника и оплетки или паяльника и оловоотсоса.
- Очистка контактных площадок. На данном этапе производится удаление остатков старого флюса, проступившего наружу после удаления старого припоя.

2. Процесс пайки с использованием паяльной станции:

- Установить компонент на контактных площадках согласно конструкторской документации, соблюдая полярность компонента.
- Припаять один из выводов компонента при помощи паяльной станции и трубчатого припоя.
- Проверить позиционирование компонента на контактных площадках после пайки одного вывода. В случае смещения компонента повторно нагреть место пайки и спозиционировать компонент при помощи пинцета.
- Припаять второй вывод компонента при помощи паяльной станции и трубчатого припоя.
- Очистить паяное соединение.
- Проверить качество паяного соединения (согласно конструкторской документации и/или классу изделия по IPC-A-610).



Монтаж SMD-компонентов с двумя выводами

12.7.3.2 Монтаж SMD-компонентов с количеством выводов более двух (SOT, SOIC, QFP и т. д.)

Общая последовательность поверхностного монтажа

1. Подготовка площадки (в случае необходимости):

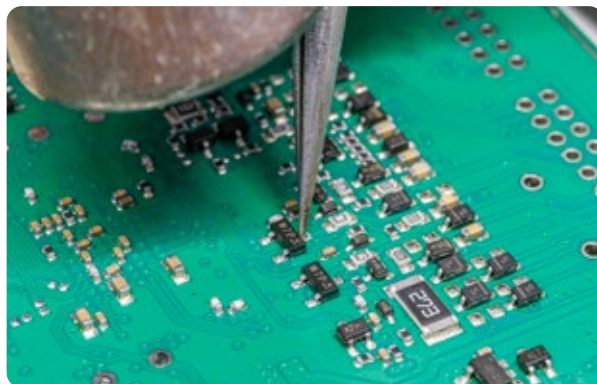
- Удаление старого припоя. Эта операция может быть выполнена при помощи паяль-

ника и оплетки или паяльника и оловоотсоса.

- Очистка контактных площадок. На данном этапе производится удаление остатков старого флюса, проступившего наружу после удаления старого припоя.

2. Процесс пайки с использованием паяльной станции и термофена:

- Облудить контактные площадки при помощи трубчатого припоя и паяльной станции.
- Отмыть остатки флюса с залуженных площадок (флюс прореагировал в процессе лужения).
- Нанести флюс-гель на все контактные площадки.
- Поместить компонент на контактную площадку и спозиционировать согласно конструкторской документации, соблюдая полярность компонента.
- При необходимости произвести предварительный подогрев печатного узла и компонента с использованием термостола.
- Поднести сопло (насадку) термофена к контактным площадкам с установленными выводами (на расстоянии 0,5–2 см) и круговыми движениями нагреть и оплавить припой с контактных площадок.
- При необходимости допаять выводы при помощи паяльника и трубчатого припоя.
- Очистить паяное соединение.



Монтаж SMD-компонентов с количеством выводов более двух

- Проверить качество паяного соединения (согласно конструкторской документации и/или классу изделия по IPC-A-610).

12.7.3.3 Монтаж SMD-компонентов с выводами под корпусом (QFN, модули)

Общая последовательность поверхностного монтажа

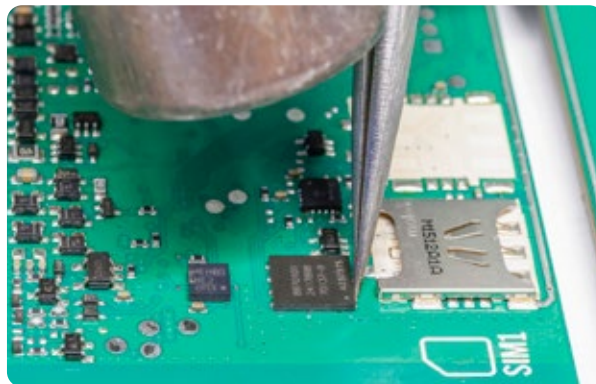
1. Подготовка площадки (в случае необходимости):

- Удаление старого припоя. Эта операция может быть выполнена при помощи паяльника и оплетки или паяльника и оловоотсоса.
- Очистка контактных площадок. На данном этапе производится удаление остатков старого флюса, проступившего наружу после удаления старого припоя.

2. Процесс пайки с использованием паяльной станции и термофена:

- Облудить контактные площадки при помощи трубчатого припоя и паяльной станции.
- Отмыть остатки флюса с залуженных площадок (флюс прореагировал в процессе лужения).
- Нанести флюс-гель на все контактные площадки.
- Поместить компонент на контактную площадку и спозиционировать согласно конструкторской документации, соблюдая полярность компонента.
- При необходимости произвести предварительный подогрев печатного узла и компонента с использованием термостола.
- Поднести наконечник термофена к контактными площадкам с установленными выводами (на расстоянии 0,5–2 см) и круговыми движениями нагреть и оплавить припой с контактных площадок.
- При необходимости допаять выводы при помощи паяльника и прутка припоя.

- Очистить паяное соединение.
- Проверить качество паяного соединения визуально и при помощи рентген-контроля (согласно конструкторской документации и/или классу изделия по IPC-A-610).



Монтаж SMD-компонентов с выводами под корпусом

12.7.3.4 Монтаж SMD-компонентов с BGA-выводами

Общая последовательность поверхностного монтажа

1. Подготовка площадки (в случае необходимости):

- Удаление старого припоя. Эта операция может быть выполнена при помощи паяльника и оплетки или паяльника и оловоотсоса.
- Очистка контактных площадок. На данном этапе производится удаление остатков старого флюса, проступившего наружу после удаления старого припоя.

2. Процесс пайки с использованием термофена:

- Нанести флюс-гель тонким слоем на все контактные площадки.
- Поместить компонент на контактные площадки и спозиционировать, ориентируясь на шелкографию и полярность.
- При необходимости произвести предварительный подогрев печатного узла и компонента с использованием термостола.

- Поднести наконечник термофена к корпусу компонента (на расстоянии 0,5–2 см) и круговыми движениями нагреть и оплавить припой.
- Очистить паяное соединение.
- Проверить качество паяного соединения при помощи рентген-контроля (согласно конструкторской документации и/или классу изделия по IPC-A-610).



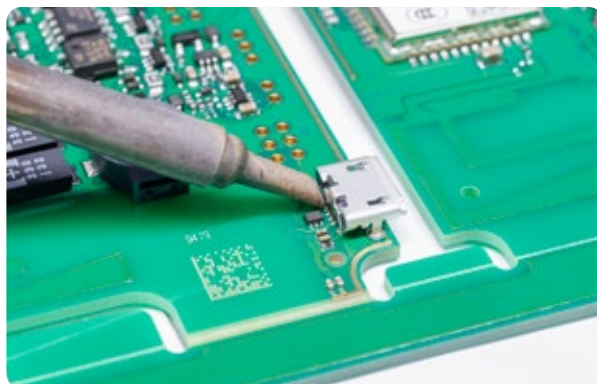
Монтаж SMD-компонентов с BGA-выводами

12.7.3.5 Монтаж SMD-разъемов

Общая последовательность поверхностного монтажа

- 1. Подготовка площадки (в случае необходимости):**
 - Удаление старого припоя. Эта операция может быть выполнена при помощи паяльника и оплетки или паяльника и оловоотсоса.
 - Очистка контактных площадок. На данном этапе производится удаление остатков старого флюса, проступившего наружу после удаления старого припоя.
- 2. Процесс пайки с использованием паяльной станции:**
 - Нанести флюс-гель на все контактные площадки (небольшое количество).
 - Поместить компонент на контактную площадку согласно конструкторской документации, соблюдая полярность компонента

- Временно припаять выводы по диагонали (прихватить).
- Проверить позиционирование компонента на контактных площадках после подпайки выводов по диагонали.
- При необходимости произвести предварительный подогрев печатного узла и компонента при помощи термостол.
- Произвести пайку при помощи индивидуального метода (поочередная пайка каждого вывода).
- Очистить паяное соединение.
- Проверить качество паяного соединения (согласно конструкторской документации и/или классу изделия по IPC-A-610).

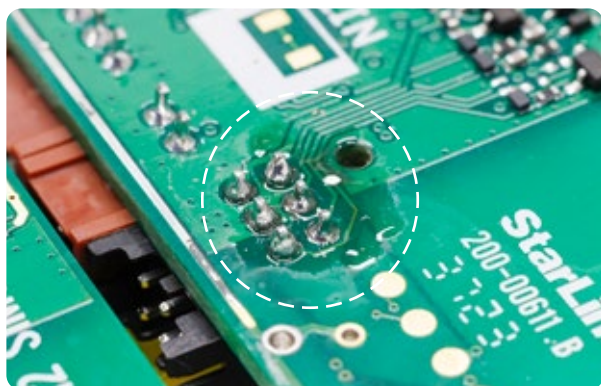


Монтаж SMD-разъемов

12.8 Возможные дефекты и методы их устранения

1. Избыточное количество остатков флюса вокруг паяного соединения:

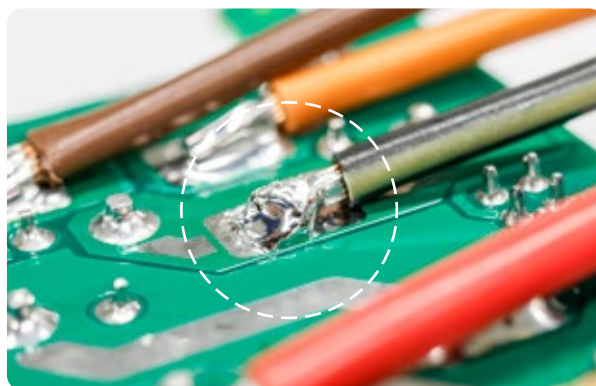
- 1.1 Большой диаметр трубчатого припоя.
Чем больше диаметр припоя, тем больше флюса подается в паяное соединение, следовательно больше остатков флюса после окончания процесса пайки.
Необходимо использовать припой меньшего диаметра согласно рекомендациям (см. параграф 12.6.1).
- 1.2 Избыточная подача трубчатого припоя в место пайки.
Необходимо подавать рекомендуемое количество припоя.



Избыточные остатки флюса вокруг паяного соединения

2. Дефект «холодная пайка»

Недостаточная температура жала паяльника/термофена и/или недостаточное время пайки приводят к дефекту «холодная пайка». Из-за недостаточной температуры или времени припой размягчается, но не расплавляется, внутри металла образуется дефектная кристаллическая решетка. В процессе эксплуатации может произойти разрыв паяного соединения между выводом и контактной площадкой. Необходимо соблюдать температурные и временные рекомендации, указанные в параграфе 12.6.2.

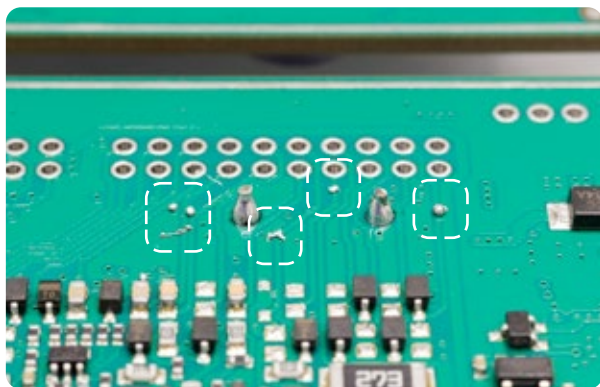


Холодная пайка

3. Разбрызгивание припоя

Припой подается на неразогретые поверхности.

Пруток припоя необходимо подавать на разогретые контактные поверхности, также не допускается подача трубчатого припоя на жало паяльника.



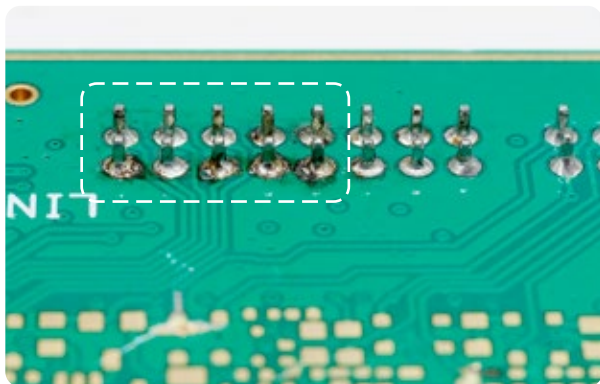
Разбрызгивание припоя

4. Темные остатки флюса после пайки:

4.1 Превышена температура жала паяльника/термофена и/или время воздействия температуры на компонент и печатную плату. Необходимо соблюдать температурные и временные рекомендации, указанные в параграфе 12.6.2.

4.2 Загрязнение жала.

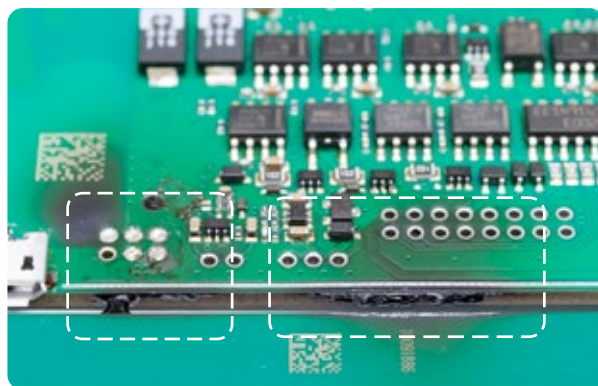
Необходимо очистить жало паяльника или заменить его.



Темные остатки флюса после пайки

5. Термическое повреждение компонентов или печатной платы

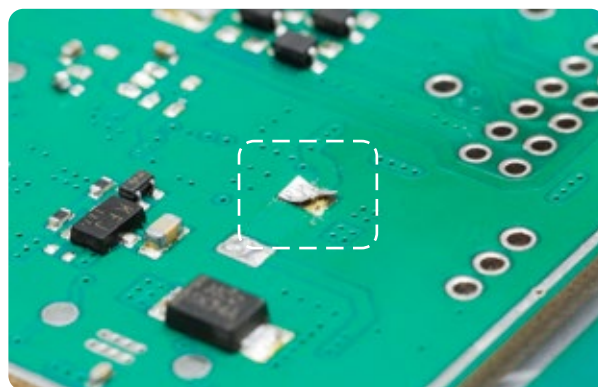
Превышена температура жала паяльника/термофена и/или время воздействия температуры на компонент и печатную плату. Необходимо соблюдать температурные и временные рекомендации, указанные в параграфе 12.6.2.



Термическое повреждение компонентов или печатной платы

6. Отслоение контактной площадки.

Превышена температура жала паяльника/термофена и/или время воздействия температуры на компонент и печатную плату. Необходимо соблюдать температурные и временные рекомендации, указанные в параграфе 12.6.2.

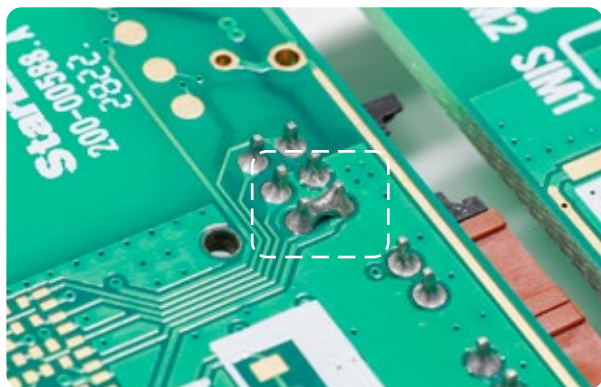


Отслоение контактной площадки

7. Перемычки между выводами компонента

Избыточное количество припоя.

Необходимо отрегулировать количество подаваемого трубчатого припоя или подобрать диаметр припоя согласно рекомендациям (см. параграф 12.6.1).



Перемычки между выводами

8. Повреждение (оплавление) изоляции кабеля

Оплавление изоляции происходит из-за высокой температуры паяльной станции или длительного контакта при пайке. Необходимо соблюдать температурные и временные рекомендации, указанные в параграфе 12.6.2.



Оплавление изоляции кабеля

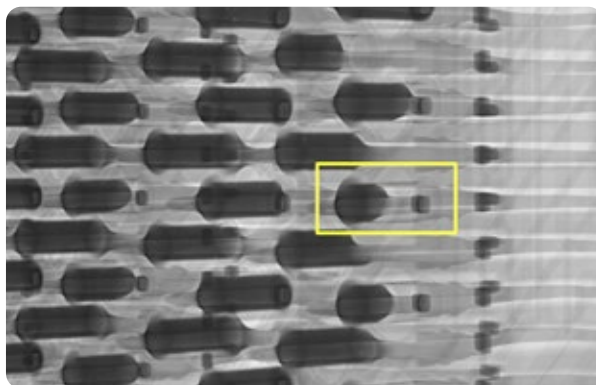
9. Протекание припоя в металлизированные отверстия (заполнение отверстия припоем) не соответствует критериям качества из стандарта IPC-A-610 (согласно классу изделия)

9.1 Недостаточная температура жала паяльника/термофена и/или время воздействия температуры на компонент и печатную плату.

Необходимо соблюдать температурные и временные рекомендации, указанные в параграфе 12.6.2.

9.2 Недостаточное количество флюса. При превышении температуры и времени воздействия активаторы в составе флюса срабатывают преждевременно и не снимают окислы с вывода компонента и внутри металлизированного отверстия.

Необходимо соблюдать температурные и временные рекомендации, указанные в параграфе 12.6.2. При необходимости использовать дополнительное флюсование (жидкий флюс или флюс-гель).



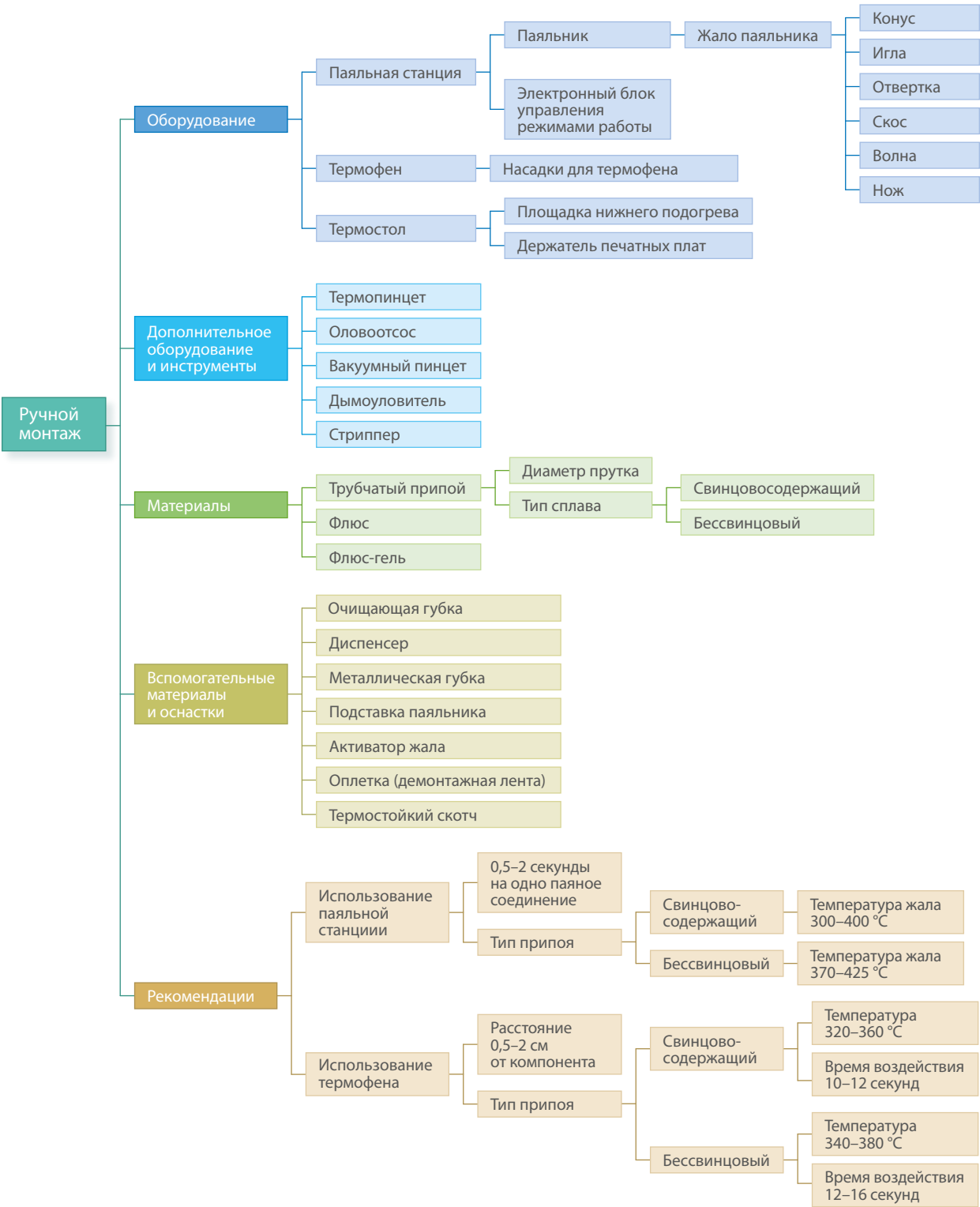
Недостаточное протекание припоя

Вероятные причины возникновения дефектов при ручном монтаже

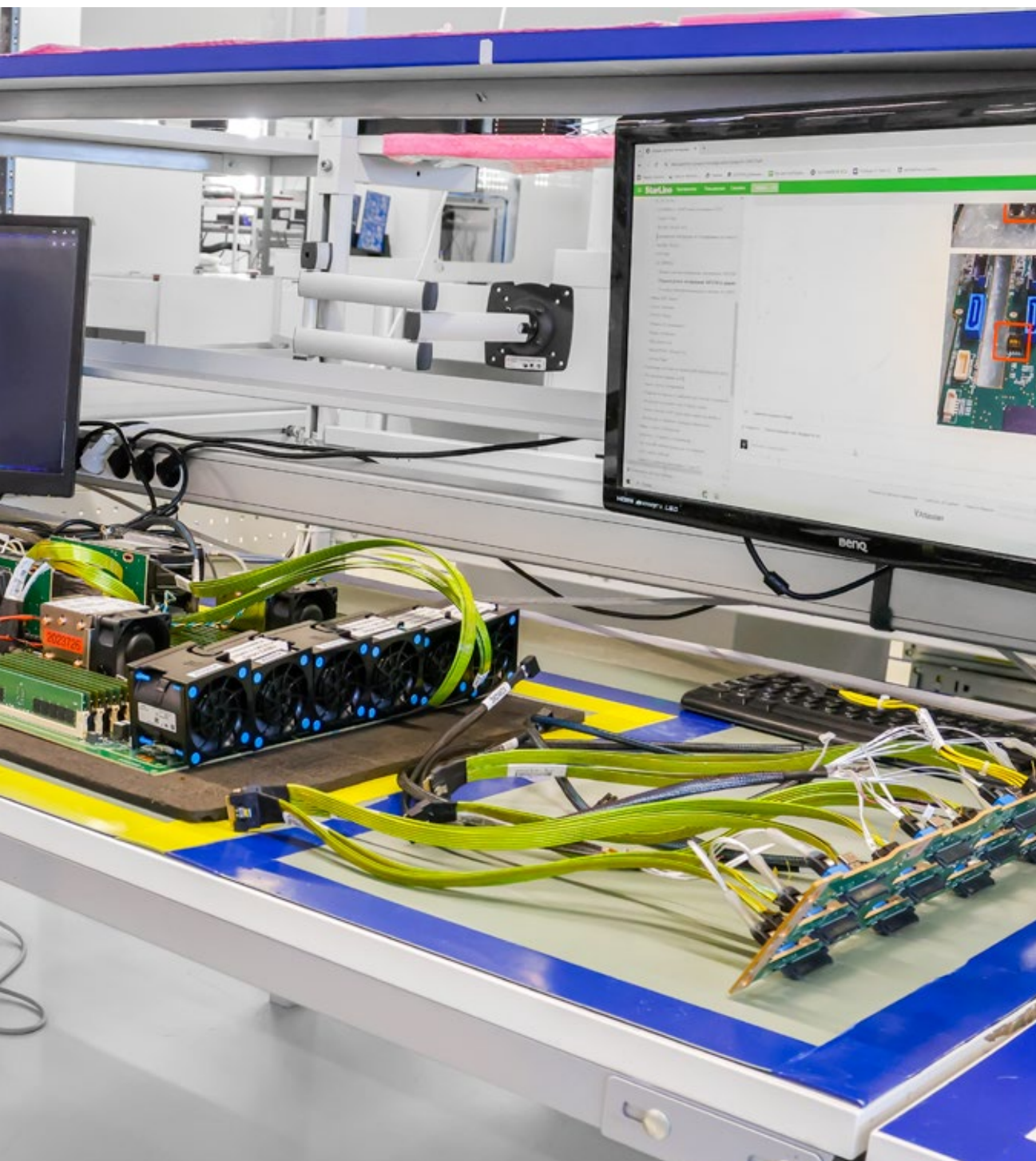
Проблема	Возможная причина			
	Не разогреты контактные поверхности	Высокая температура оборудования	Низкая температура оборудования	Превышено время пайки
Разбрызгивание припоя				
Дефект «холодная пайка»				
Темные остатки флюса				
Избыточные остатки флюса				
Термическое повреждение компонентов или печатной платы				
Отслоение контактной площадки				
Повреждение (оплавление) изоляции кабеля				
Протекание припоя в металлизированные отверстия не соответствует IPC-A-610				
Перемычки				

Возможная причина				
Недостаточное время пайки	Неверно подобран диаметр трубчатого припоя	Избыточная подача трубчатого припоя	Недостаточное количество флюса	Оборудование и/или инструмент в ненадлежащем состоянии
				
				
				
				
				

Ручной монтаж. Схема-памятка





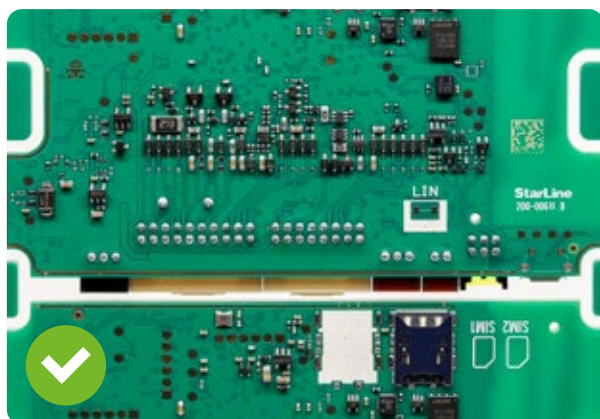


13

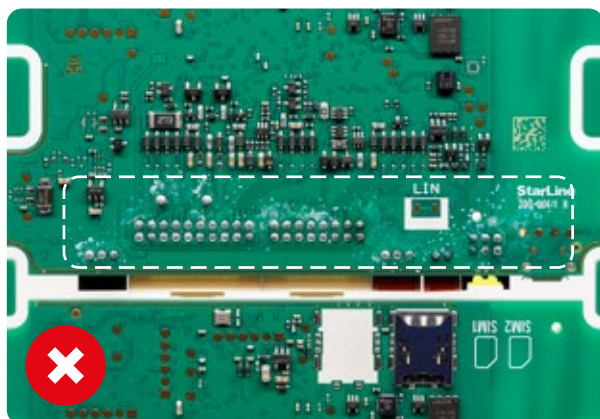
Дополнительные операции
с печатными узлами

13.1 Отмывка

Отмывка — это процесс удаления остатков технологических материалов (посторонних загрязнителей, продуктов оплавления и паяльной пасты) с печатной платы.



Чистая плата



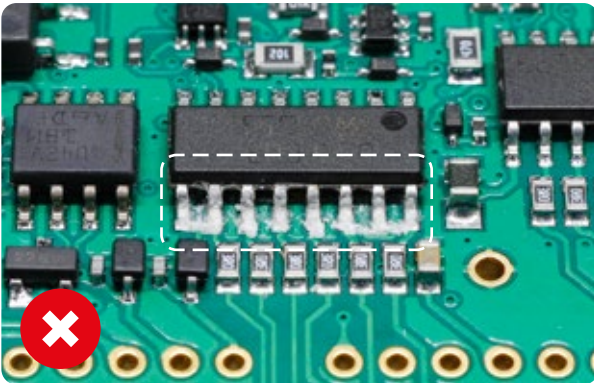
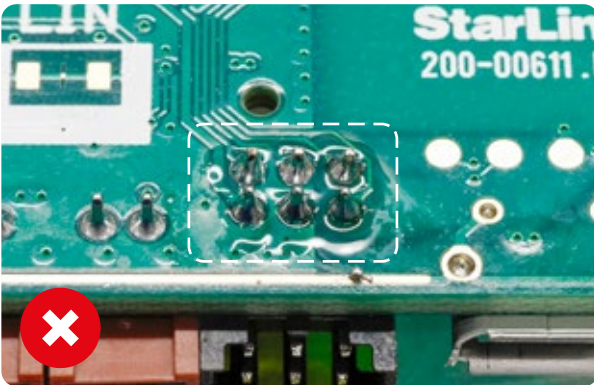
Плата требует отмывки

В каких случаях применяется система отмывки?

1. Использование активного флюса в составе паяльной пасты. Остатки активного флюса после оплавления негативно влияют на надежность печатных узлов (остатки являются электролитами, проводящими электрический ток, также остатки флюса подвергают коррозии паяные соединения).
2. Для отмывки паяльной пасты с контактных площадок — объем отпечатка паяльной пасты не входит в допустимый диапазон 50–180%.
3. Остатки материалов препятствуют нанесению влагозащитных покрытий.
4. Остатки материалов после ручного ремонта или монтажа препятствуют визуальному, внутрисхемовому или функциональному тестированию.

При использовании активного флюса остатки флюса рекомендуется удалить в течение 72 часов после пайки. Чем раньше это будет сделано, тем меньше будет воздействие на паяные соединения и проще подобрать параметры отмывки для полного удаления остатков.

Качество отмывки оценивается на основе стандарта IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок».



Примеры загрязнений на печатной плате

13.1.1 Локальная (ручная) отмывка

Локальная отмывка необходима после выполнения ремонтных работ и ручного монтажа.

Ручная отмывка выполняется при помощи безворсовой ткани и/или ESD-щетки и специальной отмывочной жидкости (Flux OFF, изопропиловый спирт, Kyzen CYBERSOLV).



Локальная отмывка мест пайки



Существуют компоненты, которые можно отмывать только локально (ручная отмывка точек пайки).

Это компоненты с негерметичными корпусами и подвижными элементами (кнопки, микрофоны, переключатели, звукоизлучатели, тумблеры), а также корпусами, имеющими маркировку в виде наклейки (модули).

При отмывке в автоматических системах подвижные части компонентов перестают выполнять свои функции, а влага, попавшая под корпус негерметичных компонентов, приводит компонент к неисправному состоянию или некорректной работе.



Примеры компонентов, которые отмываются локально

13.1.2 Автоматическая отмывка

На производствах НПО СтарЛайн используются следующие автоматические системы: струйная и ультразвуковая.

Струйная система отмывки

Струйные системы отмывки, использующиеся на производствах НПО СтарЛайн: Super Swash и Kolb AQUBE XV 932. Отмывка в струйных системах происходит с использованием отмывочной жидкости «АкваКлин».



Super Swash



Kolb AQUBE XV 932

Принцип работы: промывочная жидкость под давлением через форсунки воздействует на поверхность печатных узлов, вызывая разрушение механических связей загрязнений с поверхностью платы.

Загрязнения переносятся в раствор промывочной жидкости, где частично растворяются, а частично отфильтровываются на стадии фильтрации промывочной жидкости.

Струйные системы используются для отмывки:

- Печатных плат после процесса пастопечати, если в процессе инспекции SPI было выявлено несоответствие объема отпечатка пасты.
- Для удаления остатков флюса с собранных (спаянных) печатных плат.
- Для отмывки трафаретов.

В струйных системах очистки выполняется несколько функций:

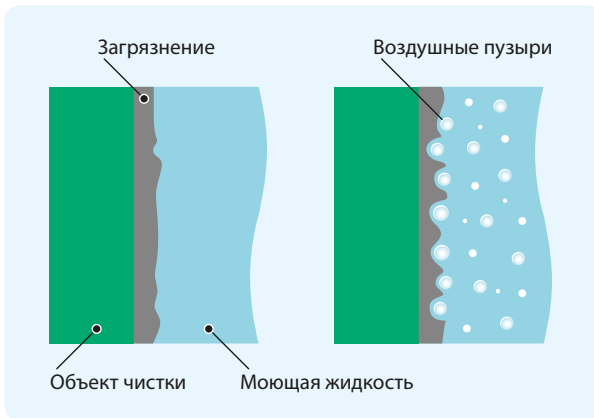
1. Отмывка.
2. Ополаскивание.
3. Сушка.

Корпуса элементов на плате, имеющие внутренние полости (разъемы) и выводы под корпусом (BGA), необходимо продувать воздушным пистолетом после отмывки в струйных системах. Это необходимо, так как в полостях остается отмывочная жидкость, которая может впоследствии негативно отразиться на работоспособности устройства.

Ультразвуковые ванны

Принцип работы ультразвуковой очистки: ультразвук (высокочастотные колебания) вызывает **кавитацию** жидкости. На поверхности отмываемых единиц образуются микроскопические кавитационные пузырьки, создающие гидравлические удары, которые эффективно удаляют загрязнение. Специальные отмывочные жидкости используются для уменьшения поверхностного натяжения воды (уменьшение связи между молекулами воды), за счет чего повышается эффективность кавитации.

Кавитация — физический процесс образования пустот (пузырьков) в жидкости с их последующим схлопыванием.



Принцип работы ультразвуковой очистки

Ультразвуковые ванны, используемые на производствах НПО СтарЛайн: Baku BK-3550 и «Спецмаш».

Ультразвуковая ванна «Спецмаш» используется для отмывки следующих инструментов и материалов:

- Поддерживающие пины и бруски (пастопечать).
- Лезвия ракеля (пастопечать).
- Печатные платы после процесса пастопечати, если в процессе инспекции SPI было выявлено несоответствие объема отпечатка пасты.

Отмывка в ультразвуковой ванне «Спецмаш» проводится с использованием отмывочной жидкости «ПринтКлин А+».



«Спецмаш»

Ультразвуковая ванна Baku BK-3550 используется для отмывки нозлов с установщиков компонентов (SMT), отмывка осуществляется в деминерализованной воде.



Baku BK-3550



Не все печатные узлы можно отмывать в ультразвуковых ваннах. Изделия с установленными кварцевыми резонаторами и некоторыми микросхемами отмывать запрещено, так как ультразвук выведет эти компоненты из строя.

13.2 Депанелизация

После окончания сборки печатных плат на автоматизированных линиях, согласно технологическому маршруту выполняется разделение мультизаготовки или единичной печатной платы с технологическими полями на печатные узлы.

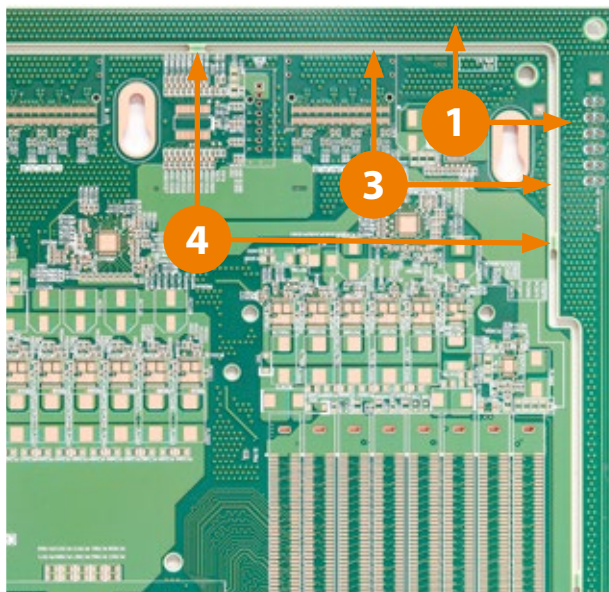
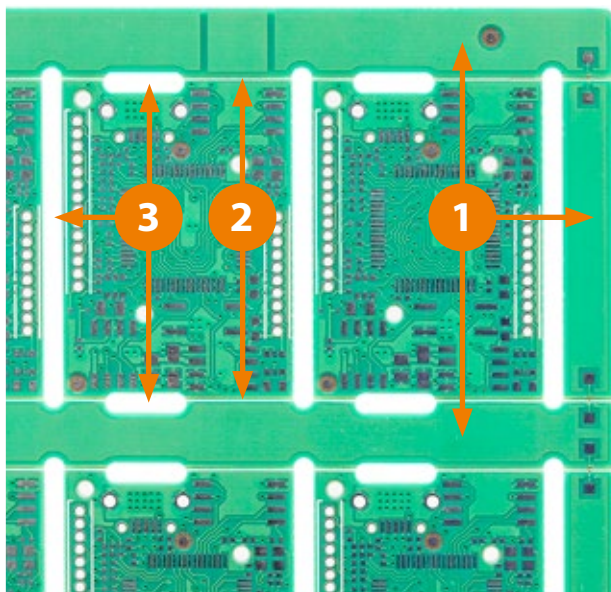
Разделение происходит:

1. По линиям скрайбирования.
2. С помощью удаления связующих перфорированных перемычек из диэлектрика.

Оборудование для разделения:

1. MAESTRO 2M

MAESTRO 2M разделяет печатные платы по линиям скрайбирования. Разделение производится вручную, оператор перемещает мультизаготовку между двумя дисковыми ножами, вследствие чего происходит разделение на печатные узлы.

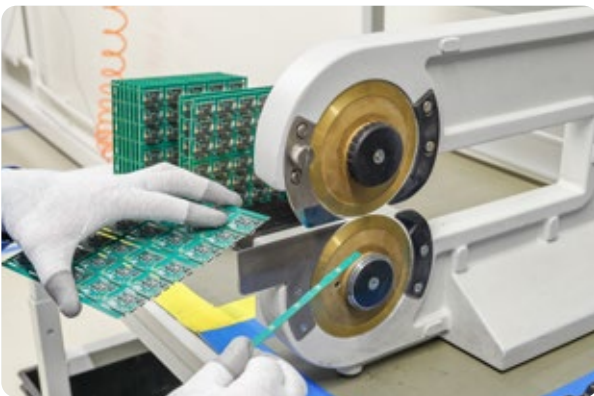


Мультизаготовка и единичная печатная плата (1 — технологические поля; 2 — линии скрайбирования; 3 — фрезеровка; 4 — перемычки)



MAESTRO 2M

Зазор между дисками ножа подбирается таким образом, чтобы разделение выполнялось легко и заготовка не застревала при прохождении между ножами.



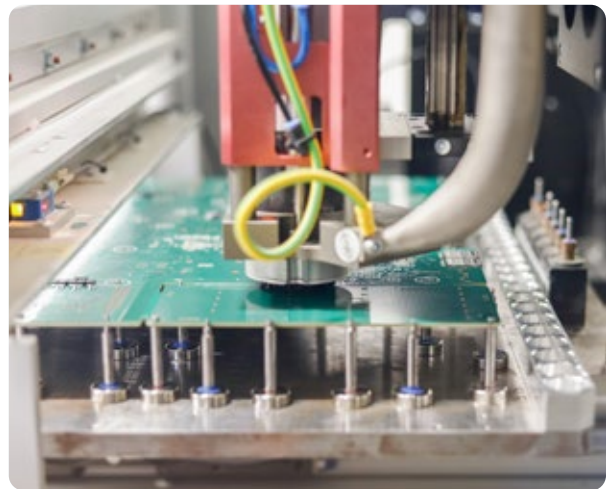
Разделение мультizaготовки при помощи MAESTRO 2M

2. SAR-1300-BD 2-Uni

SAR-1300-BD 2-Uni является автоматизированной системой для разделения мультizaготовок по линиям скрайбирования и для удаления перемычек.



SAR-1300-BD 2-Uni



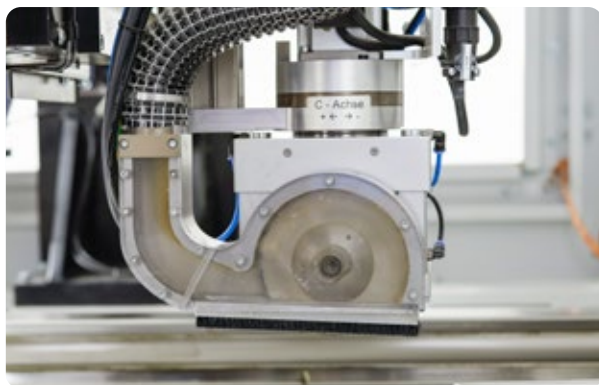
Процесс разделения единичной печатной платы с помощью SAR

Особенности автомата для разделения SAR-1300-BD 2-Uni

1. Оснащается одной из фрезерных головок:
 - Боковая фреза для удаления перемычек.
 - Дисковая фреза для разделения по линиям скрайбирования.



Боковая фреза



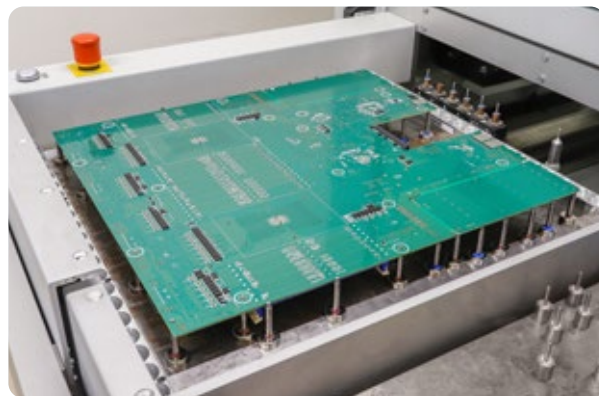
Дисковая фреза

2. Мультизаготовки или единичные печатные платы с технологическими полями можно подавать на разделение с помощью одной или двух челночных осей в зависимости от требуемой производительности. Пока фрезеруется одна мультизаготовка, можно установить другую в модуль загрузки. Первая мультизаготовка после разделения фрезой на печатные узлы поступает на первый загрузочно-разгрузочный модуль, а мультизаготовка

из второго узла автоматически направляется на депанелизацию. Разгружается первый стол и устанавливается следующая мультизаготовка и так далее. Загрузка и разгрузка мультизаготовок и печатных узлов осуществляется в ручном режиме.

3. Короткое время цикла разделения из-за высокоскоростных линейных приводов, скорость которых по осям X, Y — до 2000 мм/с.
4. Точность позиционирования фрезы составляет $\pm 0,13$ мм.
5. Точность фрезеровки 0,03 мм.

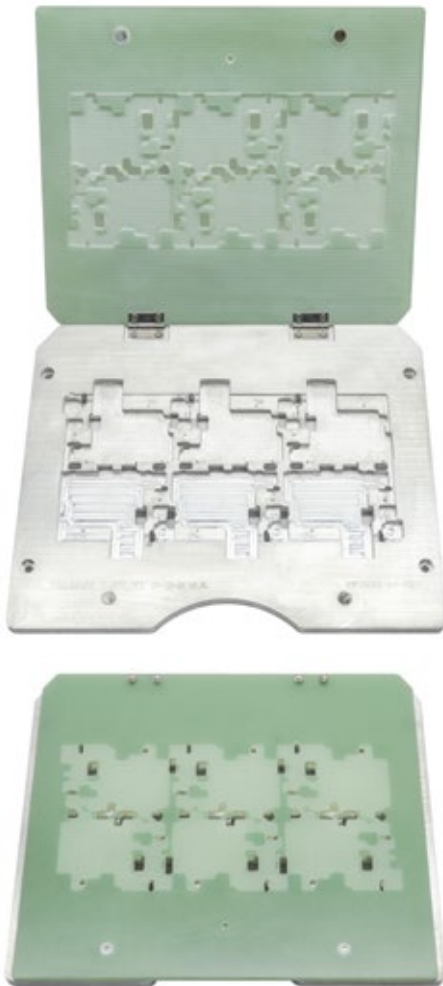
В SAR-1300-BD 2-Uni единичные платы с полями устанавливаются на поддерживающие пины перед процессом разделения. Пины расставляются автоматически на магнитный держатель согласно управляющей программе. Единичная печатная плата с полями фиксируется на поддерживающих пинах с помощью сквозных крепежных отверстий в печатной плате.



Установка платы на пины

При разделении мультизаготовки по линиям скрайбирования или при удалении перемычек используются специальные оснастки. Мультизаготовка устанавливается в ложе, а сверху закрывается крышкой. В крышке спроектированы технологические отверстия, которые дублируют движение дисковой или боковой фрезы. Плата в оснастке помещается на поддерживающие пины.

При разделении мультизаготовки без использования оснастки часть печатных узлов после частичного разделения будет нестабильно удерживаться на пинах, что приведет к дефектам разделения.



Оснастка для разделения мультизаготовок

При выполнении фрезеровки опилки диэлектрика (стеклотекстолита) остаются на поверхности печатной платы. Для их удаления используется встроенная щетка с пылеуловителем в месте установки фрезы. При наличии высоких компонентов печатные узлы продуваются воздушным пистолетом.



Если в радиусе 20 мм от траектории движения фрезы находятся компоненты высотой более 15 мм, то не рекомендуется использовать SAR-1300-BD 2-Uni.

При несоблюдении рекомендаций есть риск повреждения компонентов.

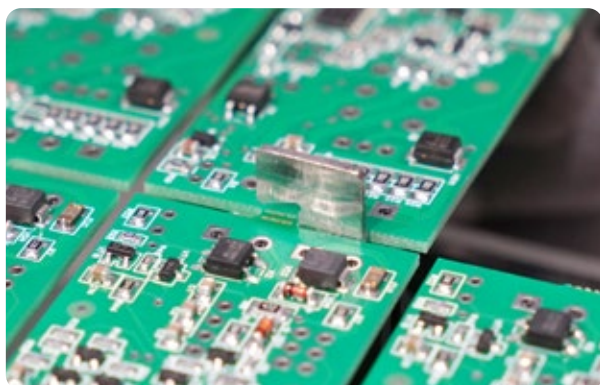
3. Stegtrenner HEKTOR 2

Установка HEKTOR 2 предназначена для разделения печатных узлов, соединенных в мультизаготовку посредством перфорированных перемычек с окнами фрезеровки.



Stegtrenner HEKTOR 2

Печатная плата помещается на матрицу, а разделяющий нож располагается над перемычкой. При запуске разделения (путем нажатия на педаль) лезвие перерубает перемычку, а отходы (стеклотекстолит) попадают в специальный приемник. Процесс разделения происходит с использованием сжатого воздуха, с возможностью регулировки рабочего давления.



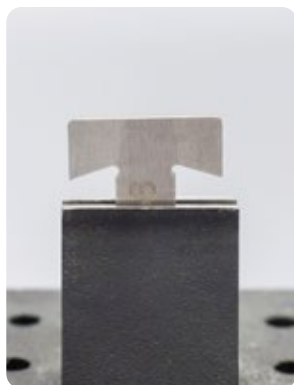
Процесс разделения при помощи НЕКТОР 2

Типы используемых ножей:

1. L-образный нож, размеры: **1,5; 2,0; 2,4; 2,5; 3,0**.
Используется для поочередного удаления перемычек.
2. Т-образный нож, размеры: **1,5; 2,0; 2,4; 2,5; 3,0**.
С помощью Т-образного ножа одновременно удаляются перемычки по правому и левому краю. Использование данного ножа сокращает время разделения, так как нет необходимости поворачивать печатную плату для удаления соседней перемычки, как при использовании L-образного ножа.



L-образный нож

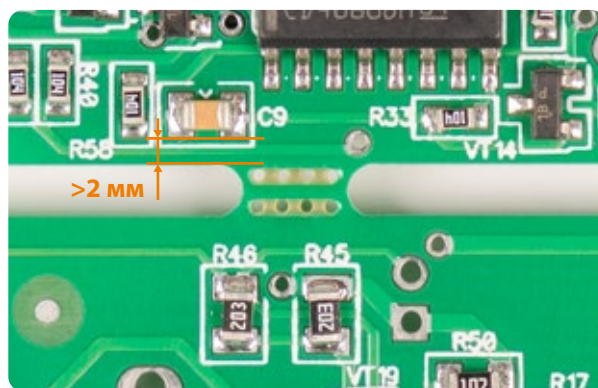


Т-образный нож



При разделении с помощью НЕКТОР 2 на расстоянии 2 мм от удаляемой перемычки со стороны установки платы на матрицу должны отсутствовать электронные компоненты.

При несоблюдении рекомендаций есть риск повреждения компонентов.

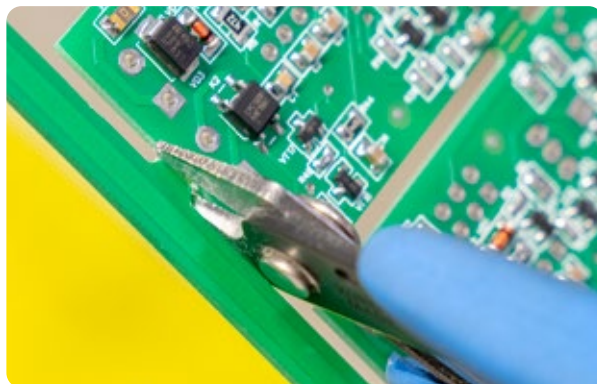


Допустимое расстояние между компонентами и перемычкой

4. Ручное разделение при помощи бокорезов, плоскогубцев и надфиля

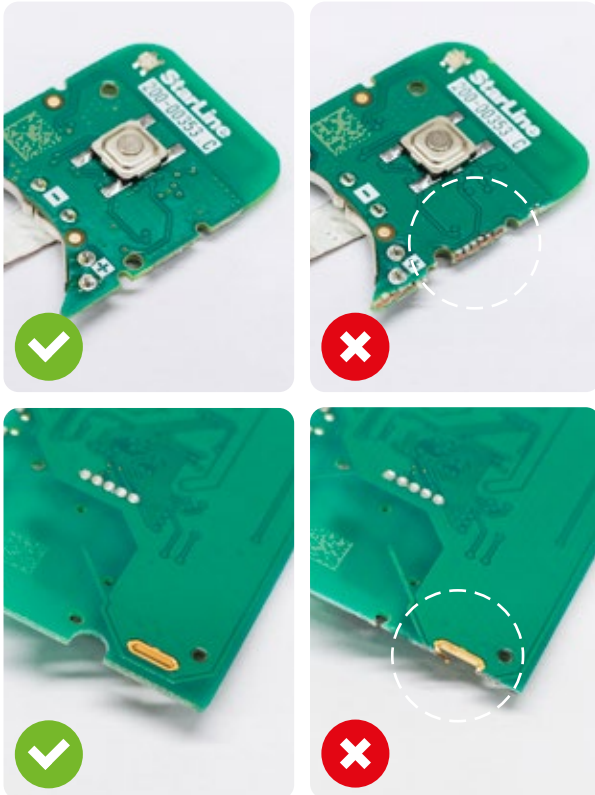
Бокорезы и плоскогубцы используются в том случае, если на плате с обеих сторон от перемычки отсутствует свободное пространство в 2 мм и нет возможности использовать автоматизированное разделение.

Остатки стеклотекстолита на печатных узлах убираются (зачищаются) надфилем.



Процесс разделения при помощи кусачек (бокорезов)

Разделение мультизаготовок выполняется в соответствии с требованиями конструкторской документации и критериями качества. Согласно критериям качества, печатные узлы после разделения должны быть без механических повреждений (зарезы, расслоение) и без излишков стеклотекстолита (диэлектрика).



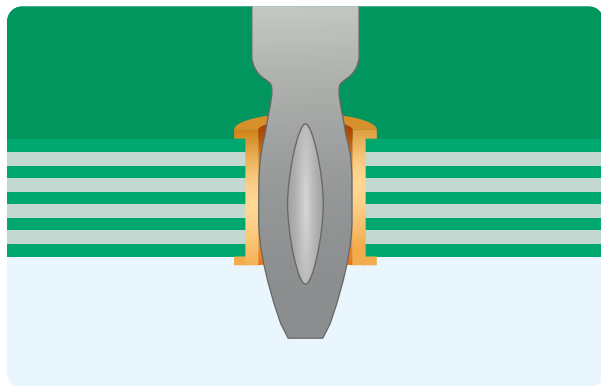
Качественное разделение и разделение с дефектами

13.3 Технология Press-Fit

Электронные компоненты крепятся к контактам печатной платы не только посредством паяного соединения, но также при помощи механического контакта.

Press-Fit — это непаяное соединение между выводом компонента и металлизированным отверстием в печатной плате, выполняемое запрессовкой.

Данное соединение получается запрессовкой между специально штампованной клеммой компонента и сквозным металлизированным отверстием в печатной плате. Благодаря постепенному и равномерному возрастанию давления на стенки отверстия, в области контакта образуется соединение холодной сварки. То есть создается высоконадежное электромеханическое соединение без использования припоя.



Технология Press-Fit

Требования для качественной запрессовки:

1. Диаметр входного отверстия меньше диаметра соединителя (вывода компонента).
2. Длина вывода компонента больше или равна толщине платы.

Преимущества технологии Press-Fit:

1. Монтаж выводов не требует пайки. Отсутствует дополнительный нагрев печатной платы, за счет чего уменьшается риск повреждения компонентов или оплавления других паяных соединений, которые могут быть ослаблены несколькими циклами нагрева.
2. Надежное соединение, устойчивое к деформации и вибрации.
3. Отсутствует образование пустот или других дефектов пайки.
4. Земляные полигоны на печатной плате требуют большого количества тепловой энергии для создания качественного паяного соединения. Использование технологии Press-Fit упрощает процесс контакта вывода и металлизированного отверстия.
5. Стойкость к коррозии из-за высокой герметичности соединения.
6. Экологичность производства, так как не используются припой и флюс.

7. Монтаж происходит значительно быстрее, чем при использовании пайки, отсутствует необходимость очистки от остатков флюса, а также нанесения покрытия, защищающего от влаги.

Для запрессовки компонентов в НПО СтарЛайн используются ручной реечный пресс Stalex AP-2 376503 и Nextron LPM3 Press-fit Machine с функцией программирования высоты и скорости движения рабочего элемента.



Реечный пресс Stalex AP-2 376503



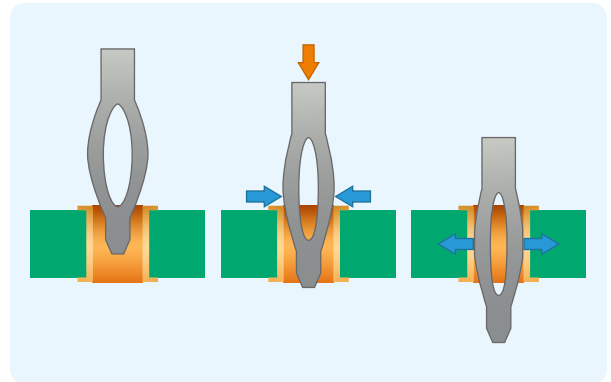
Nextron LPM3 Press-fit Machine

Давайте рассмотрим процесс запрессовки.

На контактный штырь оказывается давление во время опускания штока реечного пресса.

В отверстие штырь заходит в следующем порядке:

1. Заходная часть постепенно входит в верхний слой металлизированного отверстия.
2. Запрессовываемая часть в процессе вхождения деформируется и принимает форму отверстия, не повредив его. За счет этого образуется область контакта между выводом компонента и металлизированным отверстием. Формируется зона электрического контакта в результате взаимного сопротивления запрессовываемого элемента и стенок отверстия.



Процесс запрессовки

Основные факторы, на которые необходимо обратить внимание при выполнении запрессовки:

1. Компонент устанавливается на плату в соответствии с конструкторской документацией.
2. Визуальная проверка компонента на наличие всех выводов и отсутствие деформации.



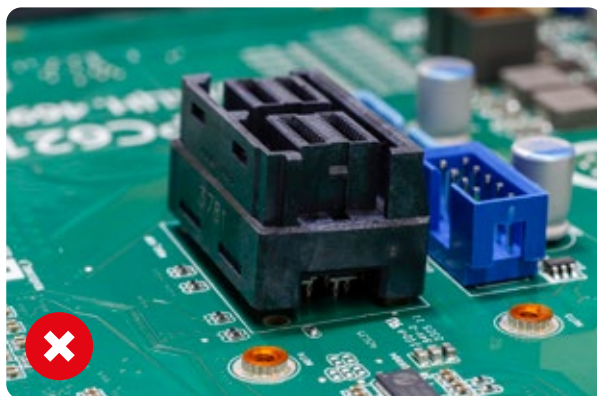
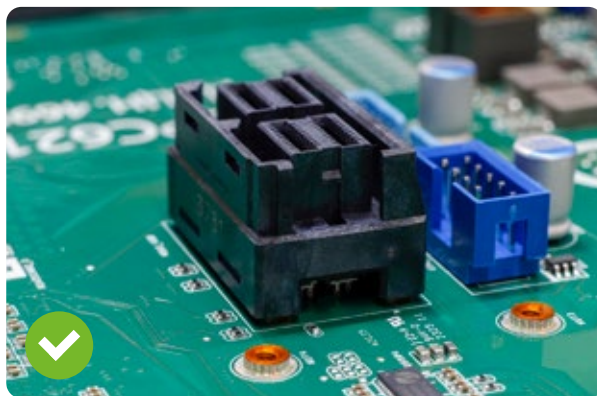
Визуальная проверка компонента и выводов

3. Для фиксации платы требуется специальная оснастка. Плата должна быть плотно зафиксирована, оснастка устанавливается без наклона.



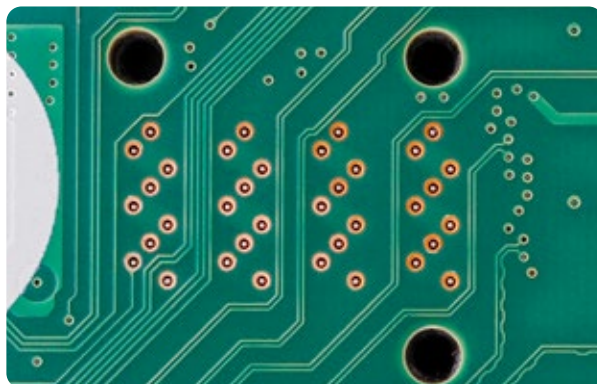
Фиксация оснастки

4. Перед запрессовкой необходимо зафиксировать компонент на посадочном месте, проверить отсутствие наклона.



Проверка отсутствия наклона перед запрессовкой

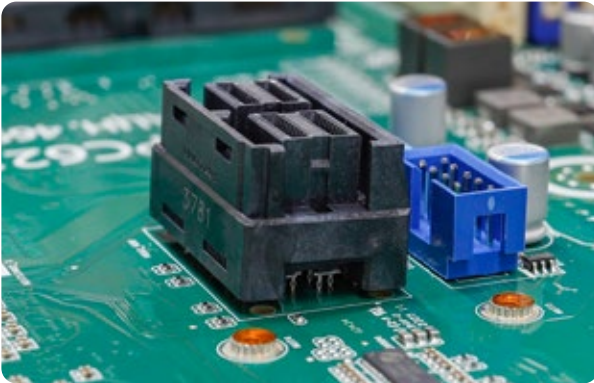
5. После запрессовки необходимо проверить наличие пинов в металлизированных отверстиях.



Проверка наличия пинов в металлизированных отверстиях

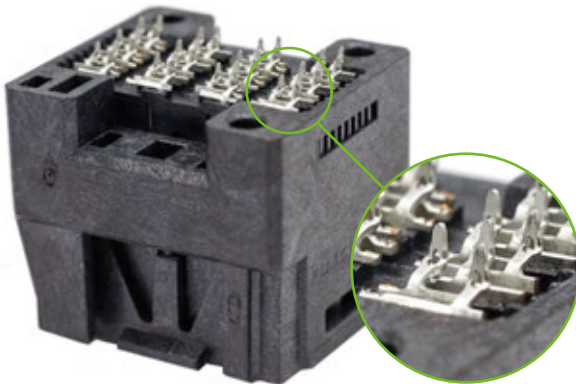
Возможные дефекты:

1. Компонент не прилегает вплотную к плате либо установлен под наклоном.



Неплотное прилегание компонента к печатной плате

2. Загнутый пин или его отсутствие.



Загнутые пины

3. Повреждение контактных площадок или металлизированных отверстий в процессе установки компонента.

13.4 Функциональное тестирование

Функциональное тестирование печатных узлов или собранных изделий является одним из заключительных этапов производства электронных устройств, согласно технологическому маршруту.

Давайте повторим предыдущие этапы проверки качества технологических операций, которые проходят собираемые изделия (печатные платы) на производствах НПО СтарЛайн:

1. С помощью оптической инспекции SPI мы проверили объем и расположение брикета паяльной пасты на контактных площадках.
2. С помощью оптической инспекции AOI мы проверили наличие паяного соединения между компонентом и печатной платой, отсутствие дефектов оплавления (перемычки, шарики и бусины припоя, эффект «надгробного камня»), а также проверили правильность установки компонентов согласно конструкторской документации.
3. С помощью ICT мы проверили целостность электрических соединений, соответствие печатного узла конструкторской документации, соответствие электрических параметров компонентов либо всей схемы (напряжение, номиналы значений сопротивления, емкости и т. д.).
4. С помощью рентгеновского оборудования мы проверили компоненты и печатные узлы на наличие скрытых дефектов и нарушений, которые не определяются визу-

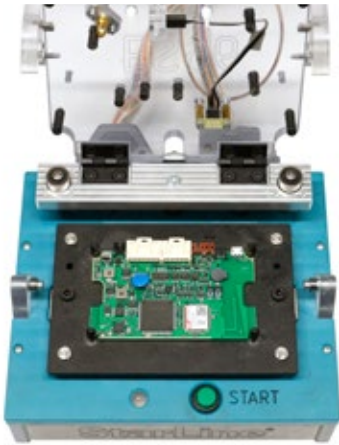
ально или на этапе AOI (дефекты под корпусом компонента или в самом корпусе).

На этапе функционального тестирования выполняется проверка работоспособности установленных компонентов и, как следствие, печатных узлов (изделий) согласно заявленным функциональным характеристикам в спецификации на изделие.

Функциональное тестирование электроники проводят с помощью стендового оборудования с программным обеспечением (программно-аппаратный комплекс).

В состав стенда функционального тестирования (далее — СФТ) входят:

1. Стендовое оборудование (адаптер). По способу подключения к тестируемому устройству можно выделить следующие виды адаптеров:
 - 1.1 Соединительное устройство с подпружиненными щупами (пробниками), расположенными напротив тестовых точек на плате. Состав и расположение тестовых точек определяются разработчиком на стадии проектирования печатной платы. Тестируемое устройство устанавливается в ложемент адаптера. Оборудование СФТ подключается тестовыми щупами к цепям устройства при закрытии крышки адаптера.



Тестирование платы центрального блока StarLine

1.2 Стендовое оборудование, подключающееся к печатным узлам через штатные разъемы.



Тестирование материнской платы



Тестирование навигационного модуля StarLine

1.3 Стендовое оборудование с комбинированным подключением к тестовым точкам через пробники и контактам штатных разъемов через ответные части.

Адаптеры проектируются и изготавливаются конструкторским бюро НПО СтарЛайн индивидуально для каждого типа изделия.

2. Дополнительное оборудование, контрольно-измерительные приборы: источники питания и нагрузки, генераторы сигналов, системы сбора данных, программаторы, принтеры, сканеры и другие элементы, которые необходимы для выполнения функционального тестирования, программирования и обеспечения прослеживаемости.

3. Программное обеспечение (интерфейс для тестировщика) и серверная инфраструктура с базой для хранения данных.

В ходе тестирования поочередно или параллельно проверяется работа каждой из заявленных функций изделия согласно разработанному тестовому плану (тестовое покрытие и способы проверки). Количество выполняемых тестов и степень задействования определенных систем (электрических цепей) определяются отделом разработок или заказчиком для каждого изделия индивидуально.

Возможности стендов функционального тестирования:

1. Анализ работы проводных и беспроводных интерфейсов изделия.
2. Контроль функционирования элементов управления и индикации.
3. Проверка цепей и измерение электрических параметров.
4. Программирование и персонализация изделий (загрузка серийных номеров, ключей шифрования, сервисных кодов, специфических настроек).

5. Учет (прослеживаемость) изделий и входящих в их состав компонентов в процессе производства.
6. Печать технологических и пользовательских этикеток для изделий.
7. Сохранение результатов тестирования в базе данных.



Тестирование печатных узлов

Рассмотрим четыре примера программно-аппаратной реализации функционального тестирования для изделий НПО СтарЛайн (из 150 проводимых тест-кейсов):

1. Для проверки функции определения координат спутниковых систем навигации в состав СФТ входит симулятор сигналов GPS и ГЛОНАСС, который имитирует наличие спутников. В процессе тестирования выполняется проверка соответствия координат, определенных тестируемым устройством, сигналам, транслируемым симулятором.
2. Для проверки работоспособности системы мобильной сотовой связи (GSM, LTE) выполняется регистрация тестируемого устройства в сотовой сети (с использованием встроенной SIM-карты) и проверка параметров связи (уровня сигнала) ячейки сети.
3. Для проверки работоспособности микроконтроллера СФТ выполняет подключение программатора, считывает тип и уникальный идентификатор, тестирует встроенную память, загружает тестовую и рабочую прошивки.
4. Для проверки работоспособности выходов в СФТ используется параметрический контроль: при помощи системы сбора данных (DAQ) измеряются напряжения на выходах и сравниваются с допустимыми значениями включенного и выключенного состояний.

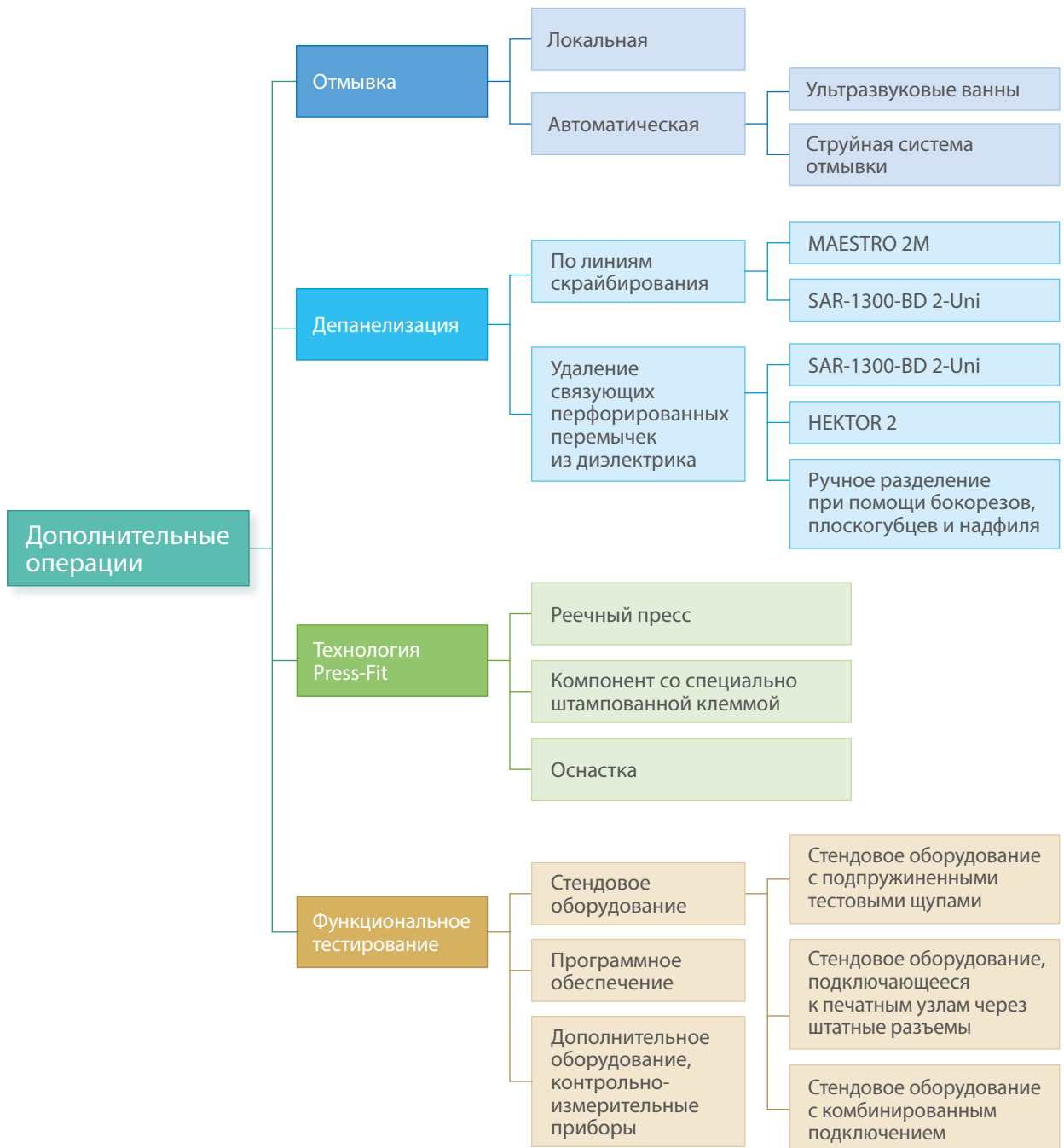
Изделие (печатный узел), в котором в ходе функционального тестирования обнаружено отклонение (не пройден тест-кейс), передается специалистам по тестированию. Специалисты по тестированию изучают электрические схемы, задействованные в работе требуемого функционала устройства, находят и устраняют коренную причину отклонения, и проводят усовершенствование технологических процессов. После этого изделие вновь передается на этап прохождения функционального тестирования.

Таким образом, в результате функционального тестирования мы получаем изделия (печатные узлы) со 100%-ным подтверждением его работоспособности согласно заявленным (тестируемым) техническим характеристикам.

Преимущества функционального тестирования с использованием стендов:

1. Минимизация влияния человеческого фактора.
При использовании стендов ручные операции сводятся к минимуму в повторяемых, контролируемых условиях.
2. Повышение производительности процесса.
Автоматизация сокращает время проверки одного устройства, что отражается на общей производительности.
3. Сбор статистики тестирования.
Автоматизированные средства позволяют собирать и анализировать данные о процессе и результатах тестирования. Анализ результатов тестирования позволяет выявить повторяющиеся дефекты и принять корректирующие меры по их устранению.

Дополнительные операции с печатными узлами. Схема-памятка







14

Контроль
качества

14.1 Качество

Качество — соответствие совокупности характеристик продукции или услуг требованиям нормативно-технической документации.

Контроль качества предусматривает проверку качества материалов для производственного процесса, контроль качества полуфабрикатов и готовой продукции в течение всего производственного цикла.

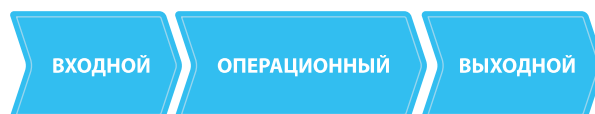


Контроль качества

Также контроль качества вводит сдерживающие меры в случае отклонения процесса от регламентированных требований качества, что позволяет не допустить выпуска дефектной продукции или продукции, не соответствующей техническим требованиям.

Контроль качества включает в себя:

1. Входной контроль качества основных и вспомогательных материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, инструментов, необходимых для производства электронных устройств.
2. Операционный контроль качества продукции и контроль за соблюдением установленного технологического процесса.
3. Выходной контроль качества готовой продукции.



По влиянию на возможность последующего использования продукции контроль качества разделяется на:

1. Разрушающий контроль.
2. Неразрушающий контроль.

На производствах НПО СтарЛайн используется неразрушающий контроль качества.

14.2 Входной контроль

Входной контроль заключается в проверке соответствия печатных плат, электронных компонентов и комплектующих характеристикам, указанным в технической документации (Datasheet) и сертификатах.

Таким образом входной контроль осуществляет проверку оригинальности поставляемых комплектующих, необходимых для радиоэлектронной сборки.

Рассмотрим входной контроль печатных плат, активных и пассивных компонентов.

14.2.1 Входной контроль печатных плат

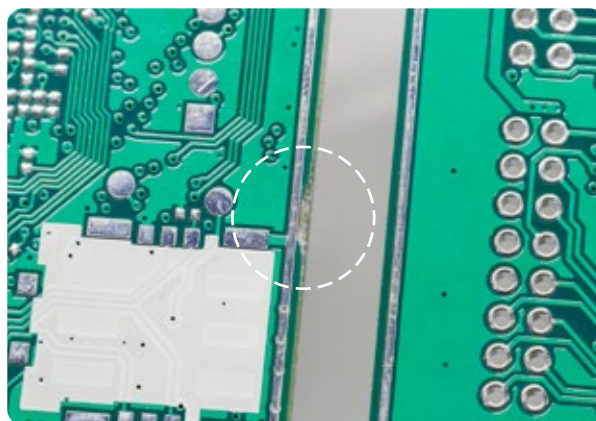
Печатная плата — это пластина из диэлектрика, на поверхности и/или в объеме которой сформирован проводящий рисунок согласно электрической схеме проекта.

Печатные платы проверяются на основании бланка заказа, электронного документа с визуальным изображением слоев и сертификата производителя.

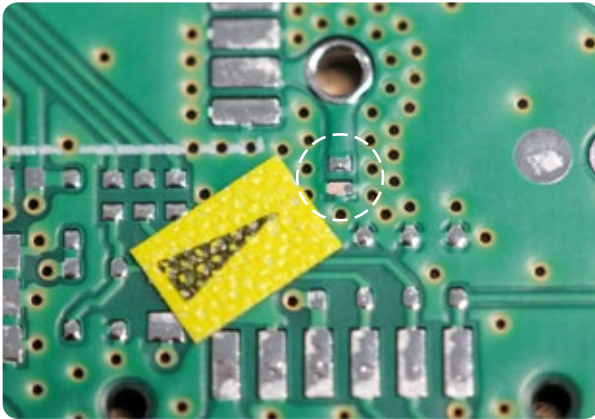
Ключевые параметры проверки:

1. Цвет защитной маски и шелкографии.
2. Проверка типа финишного покрытия контактных площадок.
3. Габаритные размеры печатной платы (длина, ширина, толщина).

4. Проверка деформации изгиба и скручивания согласно IPC-A-600 «Критерии приемки печатных плат» (методика тестирования описана в IPC-TM-650 «Руководство по методам испытания»).
5. Проверка внешних слоев печатной платы: маркировка (шелкография), вскрытие от маски (металлизация), фрезеровка/скрайбирование, металлизированные и неметаллизированные отверстия. Проверка осуществляется на основании электронного документа с визуальным изображением слоев печатной платы.
6. Проверка платы в соответствии со стандартом IPC-A-600 «Критерии приемки печатных плат» (механические повреждения маски, финишного покрытия, расслоение, засечки и т. д.).



Засечки



Частичное отсутствие финишного покрытия

14.2.2 Расчет деформации изгиба и скручивания печатных плат

Расчет деформации изгиба и скручивания осуществляется при проведении входного контроля печатных плат. Расчет осуществляется по методу, описанному в IPC-TM-650 (метод 2.4.22). Замеры проводятся на гранитной плите, которая является идеальной плоскостью.

Деформация изгиба — это отклонение печатной платы от плоскости, когда все четыре угла платы лежат в одной плоскости, а приподнята (изогнута) центральная часть.

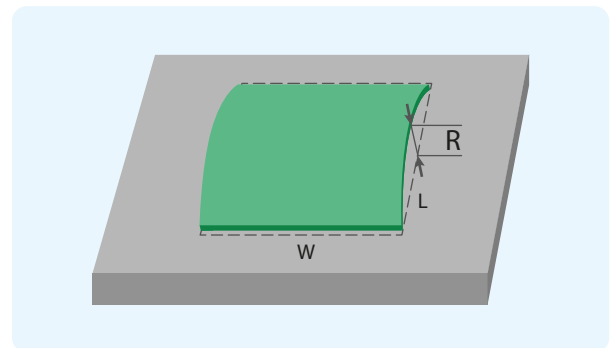
Деформация скручивания — это деформация, при которой один угол платы находится не в той плоскости, в которой лежат остальные три угла.

Допустимое значение деформации изгиба и скручивания составляет **менее 0,75%**.

Использование печатных плат с изгибом или скручиванием приводит к неравномерному нанесению паяльной пасты, износу рабочего инструмента (трафарет, ракель), некорректной постановке компонентов и дефектам оплавления.

Порядок действий при замере и расчете деформации:

1. Определение деформации изгиба.
Значение деформации изгиба рассчитывается для стороны, которая деформировалась, то есть для длины или ширины печатной платы.
Для измерения значения деформации изгиба необходимо поместить плату на гранитную плиту так, чтобы углы платы касались плиты. Затем нужно измерить отклонение печатной платы от плоскости в самой верхней точке (R_L , R_W).



Деформация изгиба

После произведения всех необходимых измерений значение деформации изгиба (B , %) рассчитывается по формуле:

$$B_L = \frac{R_L}{L} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad B_W = \frac{R_W}{W} \cdot 100\%;$$

$$B_L < 0,75\% \quad \text{или} \quad B_W < 0,75\%,$$

где R_L и R_W — максимальное отклонение платы от плоскости в зависимости от стороны печатной платы, которая деформировалась (деформация по длине или ширине платы) (мм);

L и W — длина и ширина исходной печатной платы до деформации (мм).

Пример расчета

Габаритные размеры исходной печатной платы до деформации: длина 250 мм, ширина 105 мм. Печатная плата деформи-

ровалась по длине. Максимальное отклонение от плоскости составляет 1,5 мм. Необходимо вычислить деформацию изгиба и сделать вывод о пригодности печатной платы к процессу сборки.

$L = 250$ мм, $W = 105$ мм, $R_L = 1,5$ мм.

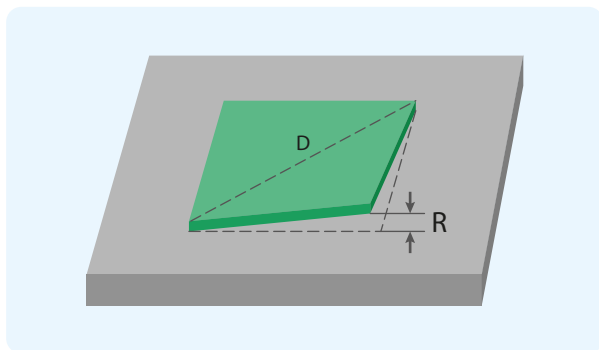
Значение деформации изгиба:

$$B_L = \frac{R_L}{L} \cdot 100\% = \frac{1,5}{250} \cdot 100\% = 0,6\%;$$

$$0,6\% < 0,75\%.$$

Следовательно, деформация изгиба в допуске, печатная плата может быть использована в производстве.

2. Определение деформации скручивания. Для расчета деформации скручивания необходимо измерить длину диагонали печатной платы (D), а также максимальное расстояние от плоскости стола до приподнятого угла печатной платы (R).



Деформация скручивания

Величина деформации скручивания (B_{twist}) в процентах определяется по формуле:

$$B_{twist} = \frac{R}{2 \cdot D} \cdot 100\%; \quad B_{twist} < 0,75\%,$$

где R — максимальное расстояние от плоскости стола до приподнятого угла печатной платы (мм);

D — диагональ исходной печатной платы до деформации (мм).

Пример расчета

Длина диагонали исходной печатной платы до деформации равняется 186 мм, максимальное отклонение угла составляет 3,5 мм. Необходимо вычислить значение деформации скручивания и сделать вывод о пригодности печатной платы к процессу сборки.

$D = 186$ мм, $R = 3,5$ мм.

Значение деформации скручивания:

$$B_{twist} = \frac{R}{2 \cdot D} \cdot 100\% = \frac{3,5}{2 \cdot 186} \cdot 100\% = 0,94\%;$$

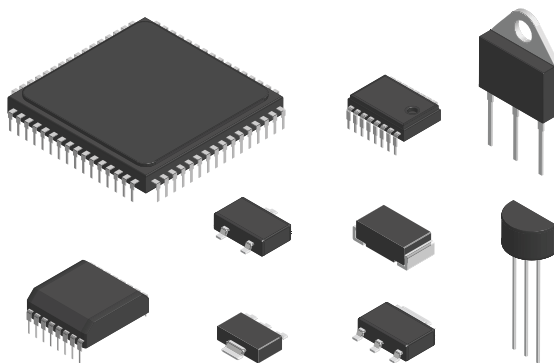
$$0,94\% > 0,75\%.$$

Следовательно, деформация скручивания выходит за допустимые рамки, использование данной печатной платы в производстве приведет к неравномерному нанесению паяльной пасты, некорректной установке компонентов и дефектам оплавления.

14.2.3 Входной контроль активных компонентов

К активным компонентам относятся устройства, способные усиливать или преобразовывать электрические сигналы.

Например: микросхемы, диоды, светодиоды, транзисторы и т. д.



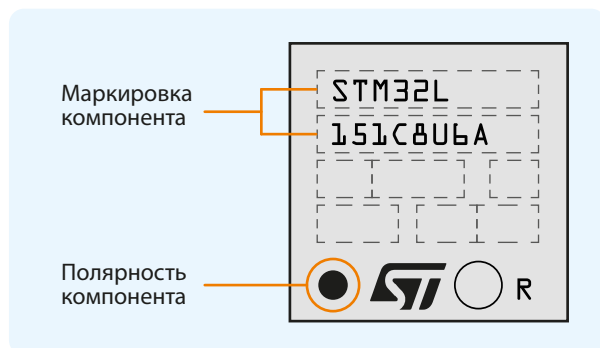
Активные компоненты



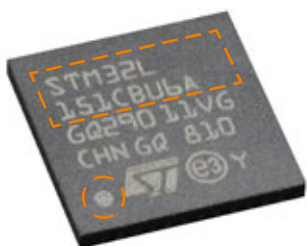
Входной контроль электронных компонентов осуществляется с использованием оригинального технического документа (Datasheet) от производителя компонента.

Проверяемые параметры при проведении входного контроля:

1. Буквенная (цифровая) маркировка компонента и полярность согласно технической документации (Datasheet).



Маркировка и полярность на компоненте согласно Datasheet



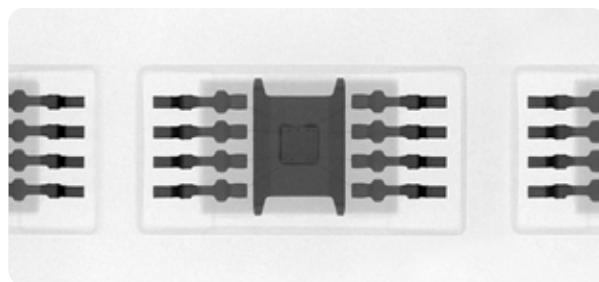
Маркировка и полярность на компоненте

2. Отсутствие механических повреждений.



Механическое повреждение микросхемы

3. Тип корпуса и геометрические размеры согласно технической документации (Datasheet).
4. Рентген-контроль компонентов. Выборочный рентген-контроль проводится с целью выявления и исключения использования контрафактных и некачественных комплектующих.



Рентген-контроль активных компонентов

14.2.4 Входной контроль пассивных компонентов

Пассивные компоненты — это устройства, которые предназначены для перераспределения электрической энергии.



Пассивные компоненты

К пассивным компонентам относятся: конденсаторы, резисторы, кварцы, резонаторы, дроссели, индуктивности, трансформаторы и т. д.

Проверяемые параметры при проведении входного контроля:

1. Полярность компонента (если имеется) согласно технической документации (Datasheet).



Полярность на электролитическом конденсаторе

2. Отсутствие механических повреждений.



Механическое повреждение варистора

3. Маркировка компонента в виде цифр, букв или цветовая маркировка согласно технической документации (Datasheet).



Цветовая маркировка резисторов



Маркировка компонента в виде цифр

4. Тип корпуса и геометрические размеры согласно технической документации (Datasheet).
5. Электрические параметры (индуктивность, сопротивление, емкость). Замер электрических параметров выполняется при помощи измерительного оборудования. Измеренные значения сравниваются с допустимыми, указанными в технической документации (Datasheet).

Измерительное оборудование на производствах НПО СтарЛайн:



Измеритель LCR HM8118



Измеритель Smart Tweezers



Измеритель LCR Keysight U1733C



Мультиметр Keysight U1233A

14.3 Операционный контроль

Операционный контроль — контроль качества продукции или процесса во время выполнения и после завершения определенной операции.

Операционный контроль необходим для проверки прохождения изделием этапов технологического маршрута (определяется маршрутными картами), а также соответствия изделия технической документации и стандартам.

Основные задачи операционного контроля:

1. Соблюдение технологии выполняемых операций.
2. Обеспечение соответствия выполняемых работ требованиям нормативных документов.
3. Соответствие качества изделий и полуфабрикатов стандарту IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок».
4. Своевременное выявление дефектов, причин их возникновения и принятие мер по их устранению.

14.3.1 Проверка первой платы с производственной линии

Первая плата — это первое изделие, изготовленное на SMT-линии в рамках одной производственной задачи (изделие определенного наименования).

В целях проведения многоступенчатого контроля и для обеспечения качества сборки продукции проводится инструментальная и визуальная проверка первой платы перед началом массовой сборки. Проверка первой платы осуществляется согласно конструкторской документации.

Проверка качества первой платы делится на два этапа:

1. Проверка платы до оплавления (до процесса оплавления в конвекционной печи).
2. Проверка платы после оплавления.

Проверка платы до оплавления:

1. Наличие компонентов.
2. Правильность установки компонентов согласно конструкторской документации (проверка полярности компонентов).
3. Расположение компонентов относительно контактной площадки (отсутствует смещение).

Проверка первой платы после оплавления:

1. Наличие компонентов.
2. Правильность установки компонентов согласно конструкторской документации (проверка полярности компонентов).
3. Проверка маркировки компонентов согласно технической документации (Datasheet).

4. Проверка первой платы в соответствии с критериями стандарта IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок» согласно классу изделия.
5. Проверка работоспособности кнопок: тактильно и при помощи мультиметра.
6. Проверка работоспособности и цвета светодиодов с использованием источника питания или мультиметра.
7. Проверка качества пайки BGA-, QFN-компонентов и компонентов с контактными площадками под корпусом при помощи рентгеновской установки.
8. Проверка правильности нанесения, считываемости сканером и расшифровки QR-кода на единичной плате и мультизаготовке.

По результатам проверки первой платы осуществляется:

1. Массовый запуск сборки изделия в случае отсутствия замечаний.
2. Корректировка технологического процесса для достижения высокого уровня качества.

14.3.2 Визуальный контроль

Визуальный контроль — это один из методов неразрушающего контроля оптического характера. Контроль проводится визуально с помощью оптических приборов (лупа, микроскоп) и средств измерений (линейка, штангенциркуль).

Контроль качества выполняется согласно требованиям конструкторской документации и стандарта IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок».

После каких операций проводится визуальный контроль?

1. Периодический визуальный контроль плат с производственной линии.

Выборочный контроль мультизаготовок после процесса оплавления проводится для подтверждения высокого уровня качества сборки изделий и неизменности технологии:

- Проверка печатной платы в соответствии с критериями стандарта IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок» согласно классу изделия.
- Проверка правильности нанесения, считываемости сканером и расшифровки QR-кода на единичной плате и мультизаготовке.
- Проверка работоспособности кнопок: тактильно и при помощи мультиметра.
- Проверка работоспособности и цвета светодиодов с использованием источника питания или мультиметра.
- Проверка качества пайки BGA-, QFN-компонентов и компонентов с контактными площадками под корпусом при помощи рентгеновской установки.

2. Контроль качества ручного монтажа компонентов.
3. Контроль качества нанесения влагозащитного покрытия или лакировки.
4. Контроль качества отмывки печатных плат.
5. Проверка изделий после ремонта.
6. Контроль ручных операций: установка проводов и механических деталей (Press-Fit), термоусадка.

14.3.3 Рентгеновский контроль

Рентгеновский контроль — это один из методов неразрушающего контроля для проверки материалов на отсутствие дефектов под корпусом компонента или в самом корпусе.

Рентгеновский контроль выявляет скрытые дефекты и нарушения, которые не могут быть обнаружены при помощи визуального контроля или AOI.

На производствах НПО СтарЛайн используются стационарные рентгеновские установки Yxlon Cheetah EVO, GE's Inspection Technologies Phoenix x|aminer и установка, встраиваемая в производственную линию для оперативного контроля, — OMRON VT-X750.



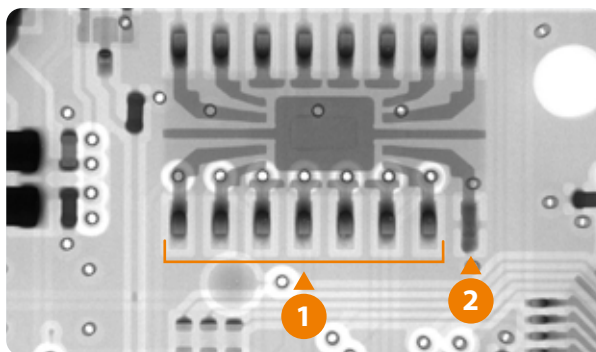
Рентгеновская установка Yxlon Cheetah

Рентгеновский контроль позволяет определить наличие дефектов в изделии, их месторасположение и размер. Объектами рентгеновского контроля являются печатные платы, печатные узлы с высокой плотностью монтажа электронных компонентов, отдельные компоненты и прочие детали.

Принцип работы рентгена заключается в просвечивании объекта рентгеновскими лучами (электромагнитным излучением с малой длиной волны), что позволяет им проникать даже в непрозрачные тела.

Волны способны проходить объект насквозь, а значит, рентгеновское излучение, принятое и зафиксированное с противоположной стороны объекта, можно подвергнуть обработке и получить информацию о толщине и типе материала.

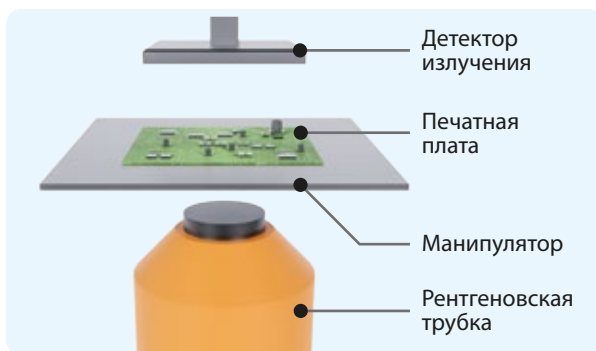
На изображении самыми темными будут шариковые выводы, более светлыми — контактные площадки печатной платы с растекшимся припоем, еще более светлыми — контактные площадки и проводники печатной платы без припоя.



Запаянные выводы (1) и незапаянный вывод (2) на рентгене

Элементы рентгена:

1. Источник (рентгеновская трубка) генерирует рентгеновские лучи, проникающие сквозь исследуемый образец.
2. Приемник (детектор излучения) регистрирует теневую проекцию данного образца.
3. Манипулятор с исследуемым образцом. Образец будет по-разному поглощать рентгеновские лучи (ослаблять их интенсивность) в зависимости от плотности, толщины, а также вида материала образца.



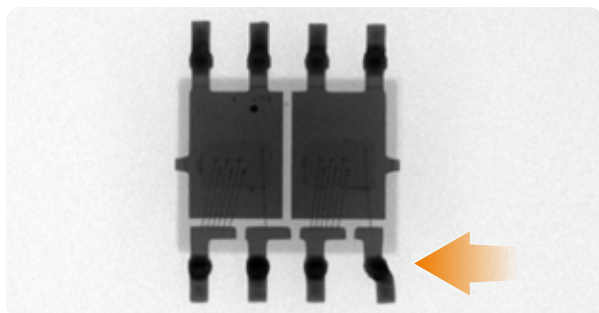
Элементы рентгена

Для чего необходим рентген-контроль?

1. **Рентген-контроль компонентов.**
Выборочный рентген-контроль компонентов на входном контроле с целью выявления и исключения использования в продукции контрафактных и некачественных (дефектных) комплектующих.

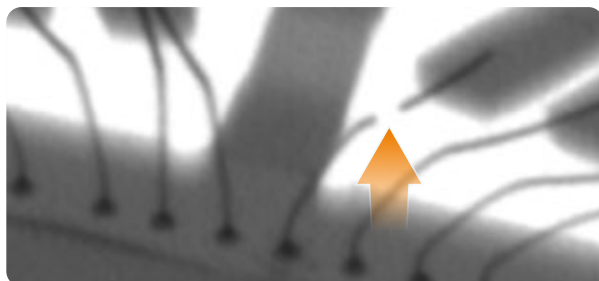
Дефекты, которые могут быть обнаружены:

- 1.1 Трещины в корпусах и в кристаллах.
- 1.2 Некомпланарность выводов (деформированные выводы, не лежащие в одной плоскости).



Некомпланарный вывод

- 1.3 Дефекты разварки кристалла: прогиб проводников, разрушение и обрыв проводников, пустоты в клее.

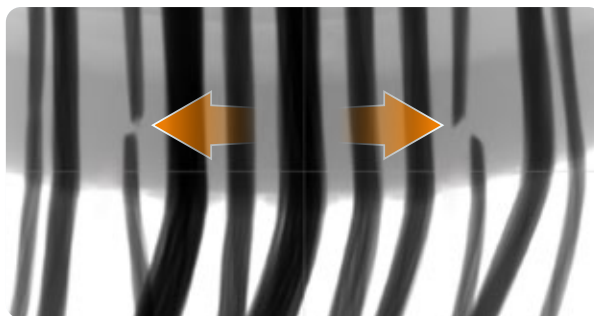


Дефект разварки кристалла

2. **Рентген-контроль кабельной сборки.**
Выявляет разрыв кабеля или жил под пластиковым корпусом.



Кабельная сборка

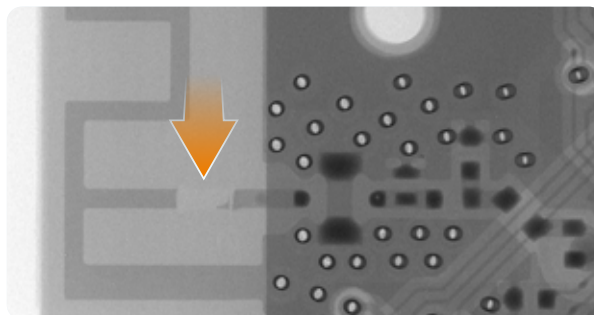


Разрыв жил кабельной сборки под корпусом

3. Рентген-контроль печатных плат.

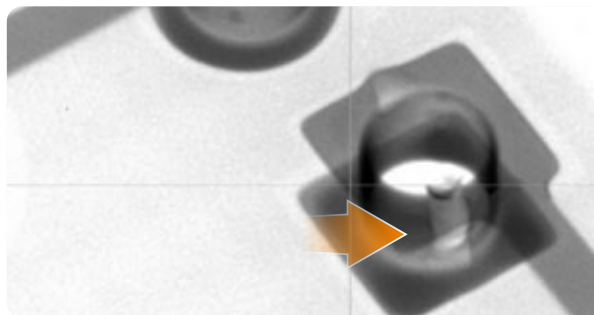
Дефекты печатных плат, выявляемые при помощи рентгеновского контроля:

- 3.1 Трещины и обрыв проводников (токопроводящий рисунок), короткое замыкание между проводниками.



Обрыв токопроводящего рисунка

- 3.2 Смещение слоев печатной платы.
- 3.3 Дефекты металлизации (отсутствие или частичное покрытие металлизированных отверстий или контактных площадок).

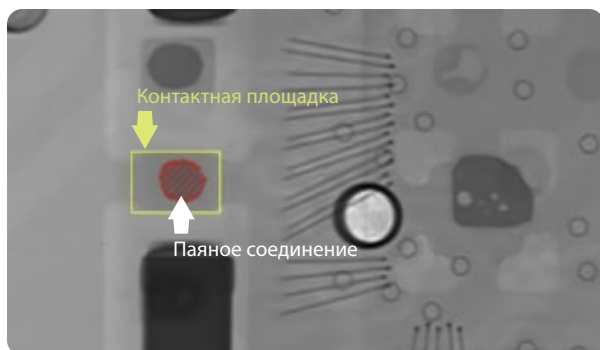


Дефект металлизации

4. Рентген-контроль качества пайки компонентов с BGA-, QFN-выводами и компонентов с наличием термопадов или контактных площадок под корпусом.

Дефекты, которые могут быть обнаружены:

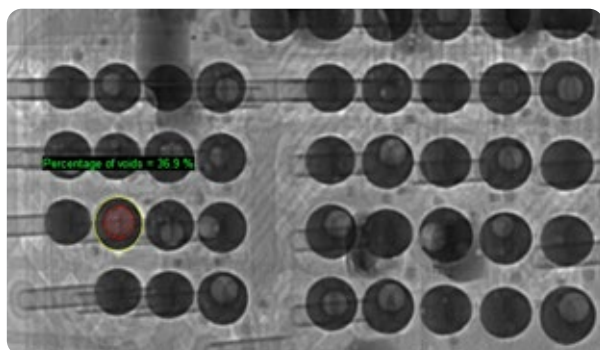
4.1 Объем паяного соединения компонентов с QFN-выводами или контактными площадками под корпусом не соответствует требованиям IPC-A-610 или требованиям технической документации.



Недостаточный объем паяного соединения

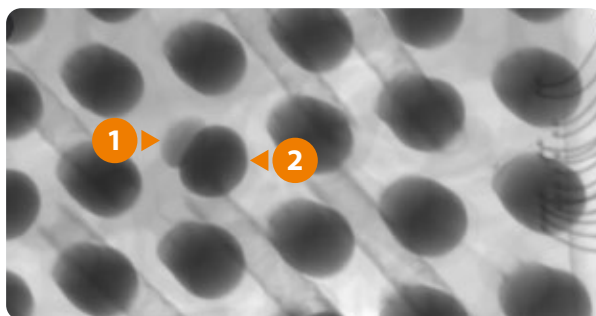
4.2 Отсутствие выводов компонентов.

4.3 Пустоты в паяном соединении шариковых выводов (BGA). Согласно IPC-A-610, участок пустот в любом шариковом выводе не должен превышать 30%.



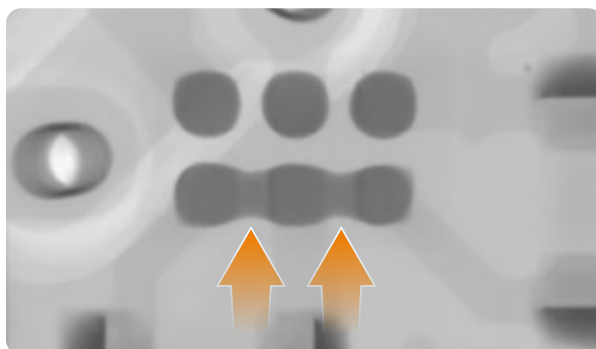
Пустоты в паяном соединении

4.4 Смещение выводов компонента относительно контактных площадок.



1 — площадка на печатной плате, 2 — вывод компонента

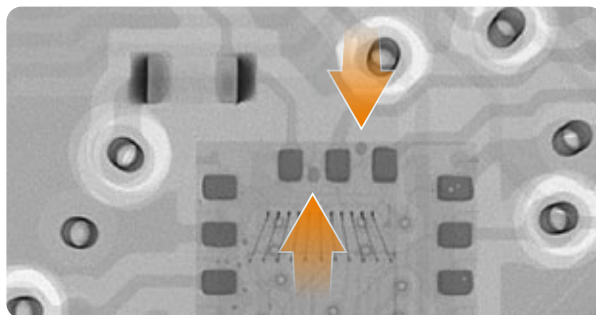
4.5 Перемычки между выводами компонента.



Перемычки между выводами компонента

4.6 Шарики или бусинки припоя, нарушающие минимальный электрический зазор.

Минимальный электрический зазор — это минимальное расстояние между неизолированными проводниками (площадки, выводы компонентов или остатки материала), нарушение которого приведет к образованию замыкания и неисправности всей электрической схемы при подаче электрического тока в цепь.



Бусинки припоя нарушают минимальный электрический зазор

Минимальный электрический зазор указан в IPC-A-610, выбирается согласно эксплуатационным условиям работы печатного узла и наличию влагозащитного покрытия (лак, компаунд, эмаль или герметик). Также значение минимального электрического зазора зависит от напряжения между проводниками.

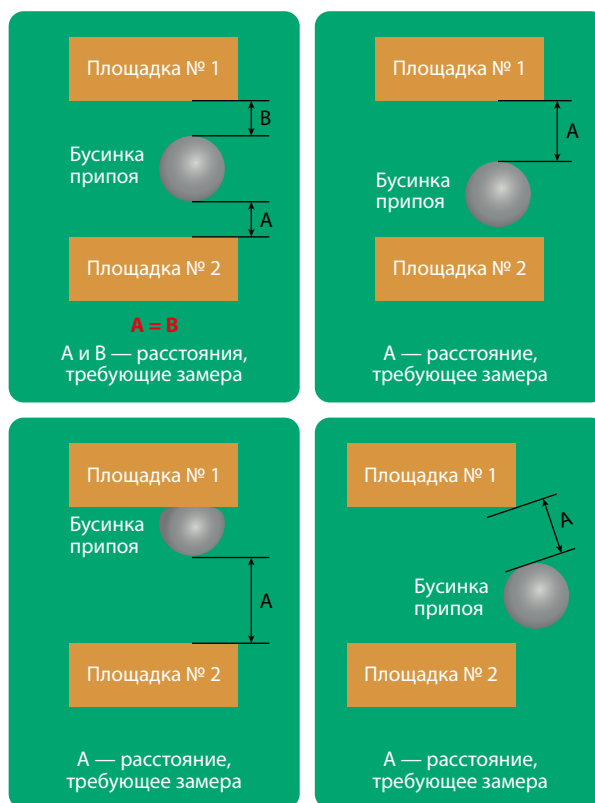
Информация о напряжении между проводниками предоставляется отделом разработок и содержится в технической документации (электрической схеме) проекта.

Ниже приведена таблица из IPC-A-610 со значениями минимального электрического зазора для собранных печатных узлов без влагозащитного покрытия.

Напряжение между проводниками (постоянное или переменное в импульсе), вольт	Минимальный зазор, мм
0–15	0,13
16–30	0,25
31–50	0,4
51–100	0,5
101–150	0,8
151–170	0,8
171–250	0,8
251–300	0,8
301–500	1,5

Печатный узел разрабатывается с учетом минимального электрического зазора. Нарушить данный зазор могут шарики или бусинки припоя.

На иллюстрациях приведены варианты расположения бусинок припоя между контактными площадками и расстояние, которое должно быть больше или равно минимальному электрическому зазору. В случае, если данное расстояние будет меньше минимального электрического зазора, возможно появление замыкания при подключении изделия к источнику питания.

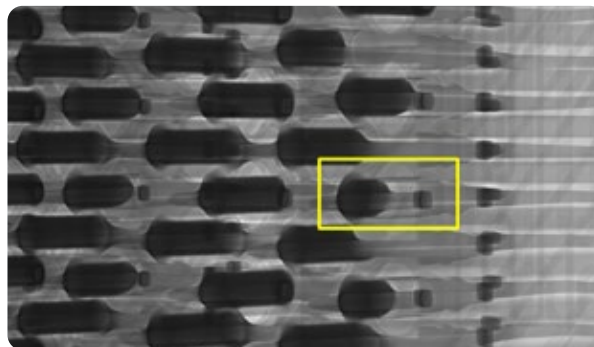


Варианты расположения бусинок припоя между контактными площадками

5. Рентген-контроль выводных компонентов, запаянных в металлизированные отверстия.

Дефекты, которые могут быть обнаружены:

Пустоты: недостаточное протекание, согласно классу изделия по IPC-A-610.



Пустоты в металлизированном отверстии

14.3.4 Внутрисхемный контроль

Внутрисхемный контроль (In-circuit testing (ICT)) — это один из методов неразрушающего контроля, являющийся средством диагностики и локализации дефектов печатных узлов и электронных компонентов.

Преимущества:

1. Возможность прямого доступа к большинству цепей тестируемого устройства.
2. Высокая скорость тестирования сложных плат с большим числом тестовых точек.
3. Высокая производительность: высокая скорость тестирования обеспечивает контроль большего числа плат по сравнению с другими методами.
4. Способность проверить тестируемую плату на наличие наибольшего числа потенциальных дефектов.

Особая ценность внутрисхемного тестирования (ICT) как метода контроля качества печатного узла заключается в том, что ICT проводится без подачи рабочего напряжения. Благодаря такой технологии тестирования есть возможность оценить ряд важных параметров собранного электронного блока без риска возникновения вторичных неисправностей, которые неизбежно появятся, если проверяемый печатный узел имеет дефекты.

Внутрисхемное тестирование (ICT) позволяет выявить:

1. Целостность электрической схемы.
2. Соответствие печатного узла конструкторской документации.
3. Наличие коротких замыканий на плате (перемычки или дефект внутренних слоев печатной платы).
4. Отсутствие компонентов и правильность установки (полярность).
5. Соответствие технических параметров компонентов (номинал).

6. Наличие неисправного/контрафактного компонента.
7. Отсутствие контакта между выводом и контактной площадкой (отсутствует паяное соединение).
8. Цвет светодиодов.

Технология внутрисхемного тестирования используется для:

1. Контроля качества первых плат в производственной партии перед запуском массовой сборки, а также периодического контроля.
2. Проверки цепей и электронных компонентов до операции «функциональное тестирование». Функциональное тестирование проводится на заключительных этапах производственного маршрута, а использование ICT позволяет заблаговременно найти неисправности и предотвратить передачу несоответствующей продукции на следующие операции. Также функциональное тестирование проверяет не все цепи, которые использует пользователь в процессе эксплуатации изделия, а внутрисхемный контроль позволяет проверить большинство цепей и электронных компонентов.

Оборудование, используемое на производствах НПО СтарЛайн, — TAKAYA APT-1400F.

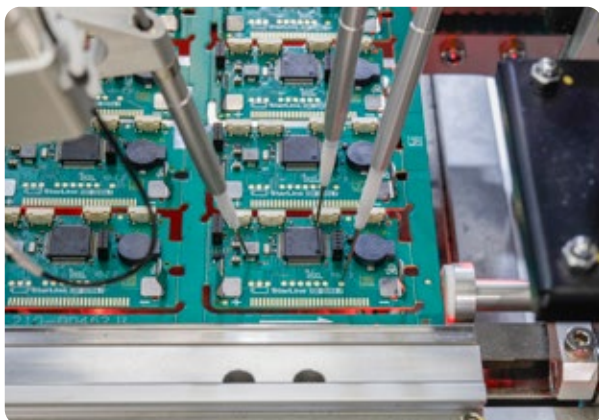


TAKAYA APT-1400F



Проверка печатных плат при помощи TAKAYA APT-1400F

Принцип работы: на тестовые точки печатной платы или на место соединения (пайки) контактных площадок и электронных компонентов подается тестовое напряжение с заданной частотой, и с этих точек измеряется протекающий в цепи ток, который машина пересчитывает в номинал компонента.



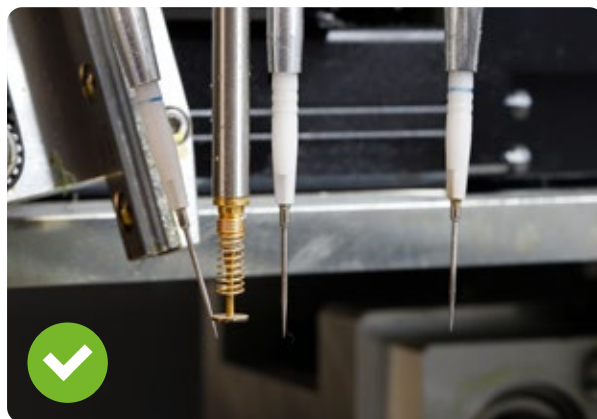
Процесс внутрисхемного контроля

Дополнительное оборудование:

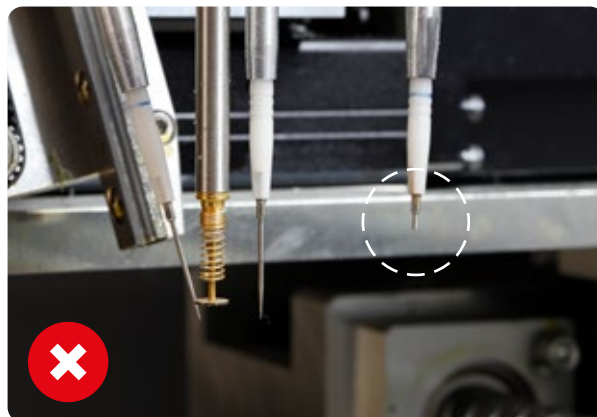
1. Тестовые пробники — иглы, с помощью которых осуществляется контакт, подача напряжения и измерение показателей. Пробники осуществляют контакт с тестовыми точками на печатной плате (точки подготовлены отделом разработок при проектировании изделия) или с местом соединения компонента и контактной площадки.



Перед запуском тестирования необходимо проверить тестовые пробники на отсутствие повреждений.



Тестовый пробник без повреждений



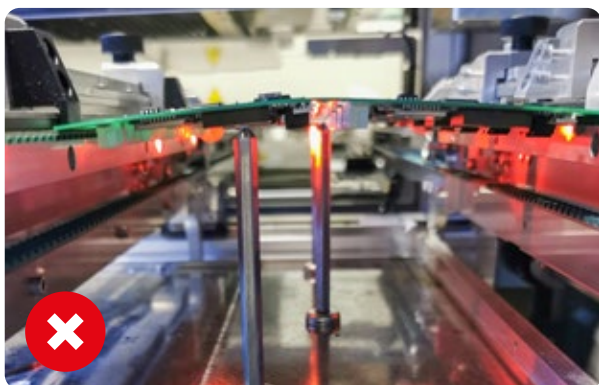
Тестовый пробник с повреждениями

Поддерживающие магнитные пины — оснастка для фиксации печатной платы на конвейере перед процессом тестирования и исключения ее изгиба.

Поддерживающие пины расставляются в точках, где отсутствуют компоненты с обратной стороны печатной платы, чтобы не повредить компоненты и не приподнять печатную плату.



Поддерживающие пины равномерно поддерживают печатную плату



Поддерживающие пины выгибают и повреждают печатную плату

Также существуют пневматические пины, которые притягивают и удерживают печатную плату. Такие пины используются в случае изгиба платы.

Перед запуском тестирования проводится калибровка конвейера, мотора головы с тестовыми пробниками и проводимости тестовых пробников.

В оборудовании TAKAYA APT-1400F проверка плат осуществляется с каждой стороны по отдельности. Существуют машины внутрисхемного тестирования, где тестирование проходит сразу с двух сторон.

Проверки изделия с двухсторонним монтажом:

1. Проверка первой стороны печатной платы, на которой не выполнен монтаж второй стороны.
2. Проверка первой стороны печатной платы, на которой выполнен монтаж второй стороны.
3. Проверка второй стороны изделия.

При написании программы используются данные, предоставленные отделом разработок или заказчиком изделия (точки тестирования могут быть определены инженером ICT совместно с заказчиком).

Каждый тип изделия НПО СтарЛайн в обязательном порядке проверяется на внутрисхемном тестировании.

ICT не проводится в случае отсутствия доступа тестовых пробников к паяным соединениям:

1. Высокие компоненты близко расположены к тестовым точкам или паяным соединениям.
2. Выводные компоненты закрывают своим корпусом тестовые точки или паяные соединения.

Проверка точности измерений машины ICT происходит раз в год с использованием тестовой платы.

14.4 Выходной контроль

Выходной контроль готовой продукции включает в себя проверку полностью собранного печатного узла, прошедшего все стадии технологического маршрута.

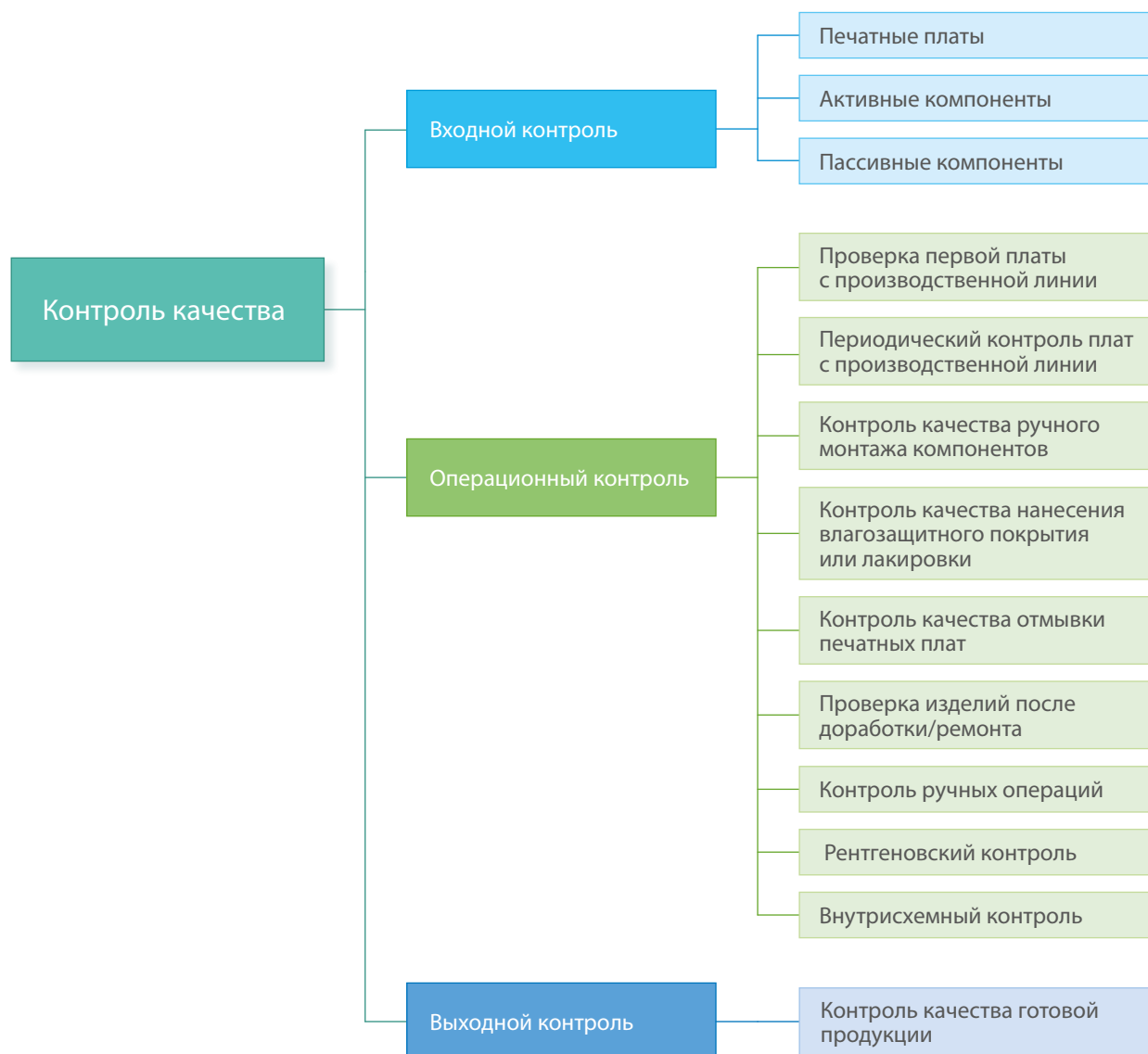
Проверяемые параметры:

1. Проверка выполнения всех операций согласно технологическому маршруту.
2. Качество разделения мультизаготовок на печатные узлы и качество отделения технологических полей от единичных печатных плат.
3. Проверка печатного узла на соответствие конструкторской документации.
4. Проверка качества печатного узла в соответствии с критериями стандарта IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок» согласно классу изделия.
5. Проверка на отсутствие механических повреждений, полученных в процессе производства и транспортировки.



Печатный узел

Контроль качества. Схема-памятка



Академия безопасности StarLine

Информационно-справочное издание для специалистов по сборке
радиоэлектроники

АЗБУКА

РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СЕКРЕТОВ
СТАБИЛЬНО ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

Составитель: Антон Александрович Марков

Автор идеи и главный редактор: Темур Асрорович Аминджанов

Технический писатель: Ярослава Николаевна Рогозовец

Дизайнер-оформитель: Алексей Викторович Саукконен

Корректор: Мария Андреевна Котова

Фотографы: Алексей Владимирович Шайков,
Алексей Викторович Саукконен

Все права защищены авторским свидетельством.

Регистрационный номер 437-485-424.

Любое использование материала данной книги, полностью
или частично, без письменного согласия правообладателя
запрещается.

При использовании материалов данной книги ссылка
на первоисточник обязательна.