

# Промывочные жидкости на водной основе. Факторы, влияющие на качество отмывки

**Александр Смирнов**, начальник отдела технологии и материалов ООО «Глобал Инжиниринг»  
a.smirnov@global-smt.ru

*На сегодняшний день во всем мире для отмывки печатных узлов (ПУ) от остатков флюса широко используются промывочные жидкости на водной основе. Данные жидкости сочетают в себе ряд преимуществ. С одной стороны, они являются негорючими и не требуют пожаробезопасного исполнения оборудования. С другой стороны, они обладают высокой эффективностью по удалению остатков флюсов современных паяльных паст, как оловянно-свинцовых, так и бессвинцовых.*

*В статье рассмотрены факторы, влияющие на результат процесса отмывки. Особое внимание будет уделено вопросу подбора оптимальных промывочных жидкостей, соответствующих всем необходимым требованиям производителей радиоэлектронной аппаратуры.*



Рис. 1. Логотип компании Kyzen

Анализ факторов, влияющих на качество отмывки, будет проведен на основе продукции производства компании Kyzen, США (см. рис. 1). Выбор производителя промывочных жидкостей, в данном случае, не случаен. Промывочные жидкости Kyzen широко применяются ведущими мировыми и отечественными производителями электроники. Кроме того, мировые эксперты в области электроники неоднократно признавали жидкости Kyzen лучшими в своем классе [1] (см. табл. 1 и рис. 2).

## ЗАДАЧИ ОТМЫВКИ В СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Современная электронная промышленность неуклонно движется по пути разработки и производства изделий с минимальными топологическими размерами.

В соответствии с законами развития электроники, выдвинутыми Гордоном Муром, каждые 1,5—2 года число транзисторов на кристалле микросхем удваивается. Это приводит к увеличению скоростей передачи и обработки информации, новым возможностям радиоэлектронных изделий. Соответственно, изменяется конфигурация радиоэлементов: увеличивается число выводов микросхем, уменьшается шаг между ними, уменьшаются разме-

ры микросхем. Реалии сегодняшнего дня — микросхемы с шагом выводов 0,3 мм и менее, микросхемы в корпусах CSP, BGA, Flip Chip с выводами, расположенными под корпусами микросхем. Появляется необходимость в создании все большего числа межсоединений на одной печатной плате,

сохраняя и даже уменьшая при этом ее размеры [2].

Миниатюризация размеров печатных плат, радиоэлектронных изделий приводит также к уменьшению расстояний между печатными платами и корпусами компонентов в направлении оси «Z» (см. рис. 3).

В этой связи, задача удаления остатков флюсов с поверхности ПУ в процессе сборки изделий становится все более сложной. Сегодня наиболее актуальной задачей является удаление остатков флюсов из-под корпусов электронных компонентов. Если на



Рис. 2. Международные награды Kyzen за лучшие промывочные жидкости

Таблица 1. Международные награды и достижения компании Kyzen, начиная с 2002 года

2002	SMT Vision Award	Лучшая новинка	Aquanox A4512
2005	SMT Vision Award	Лучшая новинка	Aquanox A4630
2006	Advanced Packaging Award	Лучшая новинка	Micronox MX2188
	Global SMT Award	Лучшая промывочная жидкость	Micronox MX2188
	EM Asia Award	Лучшая промывочная жидкость	Aquanox A4630
2007	Global SMT Award	Лучшая промывочная жидкость	Aquanox A4630
2008	Circuit Assembly NPI Award	Лучшая промывочная жидкость	Aquanox A4625
	SMT China Award	Лучшая промывочная жидкость	Aquanox A4625
	EM Asia Award	Лучшая промывочная жидкость	Aquanox A4625
2009	Circuit Assembly NPI Award	Лучшая промывочная жидкость	Aquanox A4241
	SMT Vision Award	Лучшая промывочная жидкость	Aquanox A4241
	EM Asia Award	Лучшая промывочная жидкость	Aquanox A4241
	Global Technology Award	Лучшая промывочная жидкость	Cybersolv 141-R

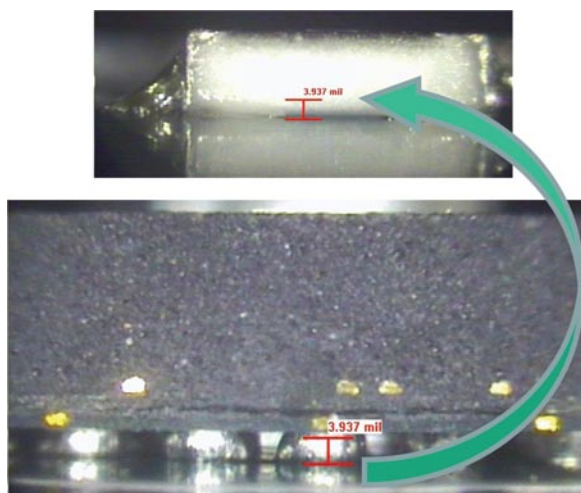


Рис. 3. Уменьшение расстояния между компонентами и печатной платой

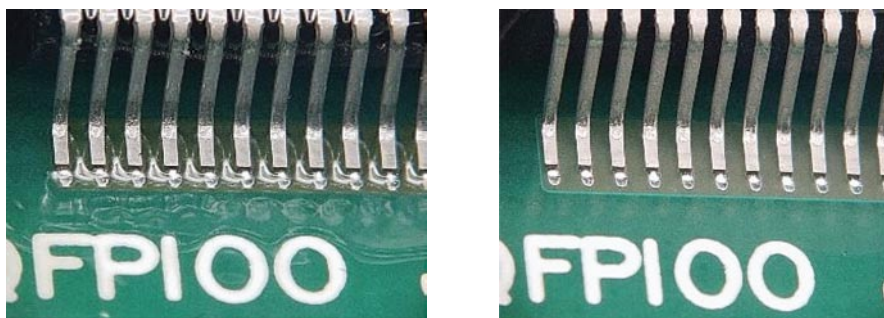


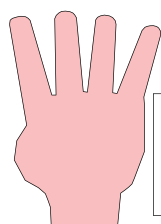
Рис. 4. Результат отмывки печатного узла от остатков флюса



Рис. 5. Не удаленные остатки флюса под корпусом компонента

поверхности ПУ рядом с выводами компонентов качество отмывки можно проконтролировать визуально (см. рис. 4), то под корпусами компонентов контроль качества отмывки с использованием неразрушающих методов

контроля осуществить невозможно (см. рис. 5). Конечно, существуют различные автоматизированные тестеры, измеряющие количество ионных загрязнений, которые косвенно могут дать понимание о качестве отмывки [3]. Однако подобные тестеры показывают усредненные значения проводимости раствора, свидетельствующие о наличии либо отсутствии загрязнений на всей поверхности ПУ, не позволяя локализовать местонахождение загрязнений. Как следствие, контроль качества отмывки под корпусами компонентов возможен только путем демонтажа компонентов,



1. Время
2. Температура
3. Механическая энергия
4. Промывочная жидкость

Рис. 6. Факторы, влияющие на качество отмывки ПУ

что, в большинстве случаев, является недопустимым.

Решение задачи удаления остатков флюсов как с поверхности ПУ, так и из-под корпусов компонентов непосредственно связано с оптимизацией процесса отмывки. Только оптимальный подбор всех составляющих процесса, влияющих на его результат, приведет к достижению высокого качества.

Как известно, на результат отмывки печатных узлов влияют четыре фактора (см. рис. 6). Кратко рассмотрим каждый из них.

### ФАКТОРЫ КАЧЕСТВА

*Время отмывки* — наиболее эластичный фактор. Увеличением времени отмывки можно добиться уменьшения температуры и концентрации промывочной жидкости. Время отмывки следует подбирать экспериментальным путем, опираясь на данные от производителей оборудования, промывочных жидкостей, с учетом особенностей конструкции ПУ и применяемых паяльных материалов.

*Температура отмывки* прямо пропорциональна эффективности процесса. Температура отмывки также часто является эластичным фактором, значение которого можно изменить. В соответствии с правилом Вант-Гоффа, увеличение температуры на 10°C приводит к увеличению константы скорости гомогенной элементарной реакции в 2—4 раза. Кроме того, увеличение температуры отмывки приводит к уменьшению вязкости и поверхностного натяжения промывочной жидкости. При повышении температуры в результате теплового движения молекул увеличиваются межмолекулярные расстояния, ослабевают силы межмолекулярного взаимодействия и значение поверхностного натяжения становится меньше. Например, для воды значение температурного коэффициента поверхностного натяжения составляет  $0,15 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>2</sup>·К) [4]. При этом:

- вода при 20°C обладает поверхностным натяжением 72,8 Дин/см;
- вода при 100°C обладает поверхностным натяжением 60 Дин/см.

Уменьшение поверхностного натяжения жидкостей с увеличением температуры имеет ярко выраженную практическую значимость. Чем меньше значение поверхностного на-

тяжения, тем большей проникающей способностью обладает промывочная жидкость. Как уже было сказано ранее, одной из наиболее актуальных задач является удаление загрязнений под корпусами компонентов. В этой связи, подбор оптимальных температурных режимов отмывки играет важнейшую роль в вопросе достижения качественного результата данного процесса.

*Механическая энергия* — при отмывке в водных растворах промывочных жидкостей, определяющим фактором выступают молекулярно-поверхностные явления, которые с наибольшим эффектом реализуются в момент возникновения поверхности раздела фаз [5]. Интенсивное механическое воздействие, обуславливающее перемещение раствора промывочной жидкости по загрязненной поверхности, способствует обновлению и образованию новых поверхностей раздела «загрязнение-раствор».

Механическая энергия — самый стабильный фактор, который редко поддается корректировке. Она обусловлена агитирующим воздействием в процессе отмывки (струи в воздухе, ультразвук, воздействие щеткой). Изменение параметров воздействия в рамках конкретного оборудования крайне редко представляется возможным. Мощность ультразвука, давление струй, скорость вращения центрифуги — эти параметры в большинстве случаев фиксированы. Наверное, единственный процесс, в котором механическое воздействие варьируется в широком диапазоне — ручная отмывка. Однако, в рамках данной статьи ручная отмывка не рассматривается, поскольку ее результат не является повторяемым и зависит от особенностей реализации процесса каждым конкретным специалистом. Кроме того, при ручной отмывке жидкости на водной основе, как правило, не применяются, а используются жидкости на основе растворителей.

*Промывочная жидкость* — выбор и применение промывочной жидкости для отмывки ПУ играет решающую роль в организации всего процесса отмывки. К вопросу выбора промывочной жидкости следует относиться с особым вниманием. В случае, если варьированием времени

и температуры отмывки не удастся добиться требуемого качества, часто встает вопрос смены оборудования либо замены промывочной жидкости. Смена оборудования — дорогостоящая процедура, результат которой далеко не всегда очевиден. В случае с заменой промывочной жидкости результат гораздо более прозрачный. Кроме того, затраты на подобную корректировку процесса минимальны, а часто и отсутствуют вовсе. Более того, путем замены промывочной жидкости можно добиться не только повышения качества отмывки, но и существенного снижения затрат на осуществление технологической операции.

В рамках данной статьи рассматриваются промывочные жидкости на водной основе. Одним из ключевых параметров, оказывающих влияние на качество отмывки с применением таких жидкостей, является их концентрация.

Чем выше концентрация моющего вещества в растворе, тем быстрее идет его сорбция на обрабатываемой поверхности, обуславливающая образование структурированных слоев воды, экранирующих механическое воздействие. Несмотря на то, что при применении концентрированных растворов вытеснение загрязнения с обрабатываемой поверхности идет эффективней, это явление не компенсирует снижения механического воздействия, и качество отмывки будет ниже, чем в случае использования менее концентрированных растворов. В то же время, при низких концентрациях промывочной жидкости количества моющего вещества может быть недостаточно для эффективного удаления загрязнений с поверхности ПУ. В этой связи, необходимо поддерживать концентрацию промывочных жидкостей в рекомендуемом производителем диапазоне.

К современным промывочным жидкостям на водной основе предъявляются высокие требования по части эффективности удаления загрязнений не только в камерных системах отмывки, но также и в конвейерных. Особенностью конвейерных систем отмывки является относительно малое время воздействия промывочной жидкости на остатки загрязнений, обусловленное высокой производительностью процесса. Поэтому про-

мывочная жидкость за время менее 10 минут должна не только воздействовать на поверхность ПУ, но и проникнув под корпуса компонентов, удалить все имеющиеся загрязнения. Кроме того, в последнее время для многих европейских предприятий — производителей электронной аппаратуры остро стоит вопрос удаления остатков флюсов бессвинцовых паяльных паст.

Наиболее распространенные бессвинцовые сплавы SAC в процессе пайки склонны к формированию большого числа оксидов олова, образование которых ухудшает смачивающую способность данных сплавов. Для улучшения смачивания в бессвинцовых паяльных пастах широко применяются специальные полимерные флюсоустойчивые композиции. Подобные композиции под воздействием высоких температур пайки образуют высокомолекулярные соединения, последующее удаление которых на этапе отмывки представляет собой непростую техническую задачу, для решения которой необходимо применять специальные промывочные жидкости.

## ВОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОТМЫВКИ

Любая технология отмывки печатных узлов состоит из нескольких стадий:

— *Отмывка* — на стадии отмывки происходит разрушение химических связей остатков флюса, перенос в раствор, частичное растворение загрязнений;

— *Ополаскивание* — на стадии ополаскивания остатки загрязнений, не обладающие сильными химическими связями с поверхностью ПУ и между собой, а также остатки промывочной жидкости удаляются с поверхности печатного узла. При ополаскивании после процесса отмывки применяется, как правило, водопроводная вода;

— *Финишное ополаскивание* — при грамотной организации процесса отмывки финишное ополаскивание осуществляется деионизованной водой. Цель финишного ополаскивания — достижение чистоты поверхности ПУ, определяемой значением сопротивления/проводимости деионизованной воды после ополаскивания;

— *Сушка*.

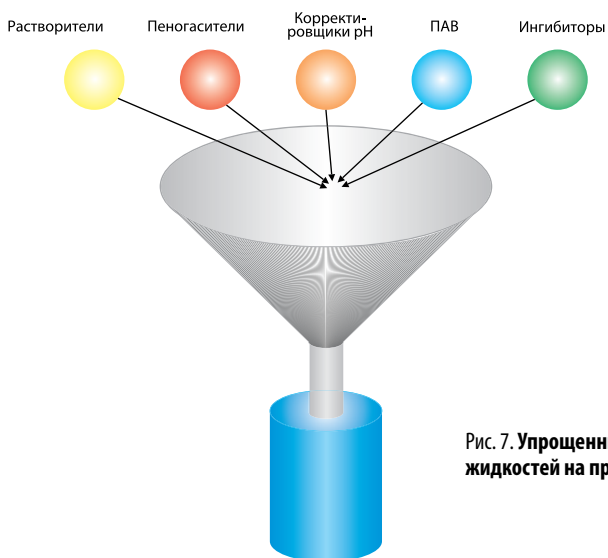


Рис. 7. Упрощенный состав промывочных жидкостей на примере продукции Kuzen

В водных процессах отмычки на первой стадии используются промывочные жидкости на водной основе, которые представляют собой концентрат, разведенный в воде в необходимых пропорциях. Концентрация промывочной жидкости задается в пределах, рекомендуемых производителем жидкостей. Типичные виды агитации, используемые на данной стадии, — струи в воздухе, струи в объеме, ультразвук, барботаж.

Промывочные жидкости на водной основе находят широкое применение в радиоэлектронной промышленности. Они качественно удаляют остатки канифольных, синтетических, органических флюсов, клеев для поверхностного монтажа, остатки неплавленых паяльных паст, а также применяются для очистки трафаретов. Данные промывочные жидкости совместимы с большинством типов оборудования для отмычки, с различными этикетками, применяемыми

для маркировки печатных узлов. Вопросы совместимости промывочных жидкостей с деталями оборудования и различными материалами, применяемыми при изготовлении ПУ, будут рассмотрены отдельно.

Также одно из важнейших преимуществ жидкостей на водной основе — совместимость с паяными соединениями, различными металлами и сплавами, применяемыми в производстве электроники, совместимость с эластомерами. Однако, далеко не все жидкости на водной основе обладают данными характеристиками и преимуществами. В рамках этой статьи будут рассмотрены промывочные жидкости производства компании Kuzen, США. Линейка продукции компании Kuzen включает целый ряд инновационных жидкостей на водной основе для использования в электронике. В зависимости от особенностей организации конкретного технологического процесса каждый сможет подобрать про-

мывочную жидкость Kuzen для своего применения (см. табл. 2). При этом, следуя рекомендациям по организации процесса отмычки, в подавляющем большинстве случаев заказчики отмечают выдающиеся результаты отмычки.

### СОСТАВ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Промывочная жидкость — ключевой фактор, влияющий на результат процесса отмычки. На сегодняшний день в радиоэлектронной промышленности получили широкое распространение специализированные жидкости на водной основе, разработанные специально для удаления остатков флюсов паяльных паст и других загрязнений. Химический состав таких жидкостей — сложная композиция, представляющая собой совокупность растворителей, поверхностно-активных веществ (ПАВ), пеногасителей, различных присадок, стабилизаторов, ингибиторов коррозии и т.д. (см. рис.7).

### КОНТРОЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Как было сказано ранее, промывочные жидкости на водной основе применяются в виде растворов. В этой связи, одним из важнейших факторов, влияющих на качество отмычки, является их концентрация. Для поддержания стабильно высокого качества отмычки необходимо регулярно осуществлять контроль концентрации промывочных жидкостей. Существует несколько методов контроля.

#### Контроль концентрации методом титрования

Контроль концентрации методом титрования — увлекательный процесс, процедура которого рассмотрена ниже на примере промывочной жидкости Aquanox A4241, а исходные параметры процедуры приведены в таблице 3.

Для проведения контроля необходимы следующие реагенты (см. рис. 8):  
 — фенолфталеиновый индикатор;  
 — деионизованная вода;  
 — кислотный титр 0,5N (HCl).

#### Процедура:

— смешайте образец жидкости с деионизованной водой до достижения объема 50 мл (см. рис. 9);  
 — добавьте фенолфталеиновый индикатор в количестве 2—10 капель.

Таблица 2. Промывочные жидкости Kuzen для удаления остатков флюсов

Технология отмычки	Вид агитации			
	Струи в воздухе (струйные системы отмычки)	Струи в объеме	Ультразвук	Барботаж
Водная основа	Aquanox A4241	Aquanox A4241	Aquanox A4651US	Aquanox A4651US/ Aquanox A4241
Полуводная основа	—	Ionox I3302	Ionox I3302	Ionox I3302

Таблица 3. Пояснения к методу контроля концентрации промывочных жидкостей титрованием

Предполагаемый диапазон концентрации промывочной жидкости, %	5—10	5—10	10—25
Требуемый объем образца жидкости, мл	10	5	2
Индикатор	Фенолфталеин	Фенолфталеин	Фенолфталеин
Титр	0,5N HCl	0,5N HCl	0,5N HCl
Коэффициент	0,08	0,17	0,5



Рис. 8. Набор, необходимый для контроля концентрации титрованием

Добавлять индикатор необходимо до окрашивания раствора в розовый цвет (см. рис. 10);

- взбалтывая полученный раствор промывочной жидкостью, добавьте титр до момента, пока розовый цвет не исчезнет;

- посчитайте количество добавленных капель титра;

- концентрация рассчитывается по формуле, либо по графику (см. рис. 11):

$$\begin{aligned} \text{Концентрация, \%} &= \\ &= \text{кол-во капель титра} \times \\ &\times \text{коэффициент.} \end{aligned}$$

Метод титрования представляет наибольший интерес для использования в лабораторных условиях. Его применение в условиях реального производства довольно часто затруднительно. Причина — ощутимые временные затраты, необходимые на контроль концентрации методом титрования и корректировку концентрации промывочной жидкости. По данным, полученным от производителей электроники, процедура контроля концентрации методом титрования может занимать до 30 минут. Далеко не каждый производитель готов инвестировать столь продолжительное время на контроль концентрации жидкости. Поэтому зачастую концентрацию предпочитают не контролировать вовсе. А зря. На сегодняшний день существует более быстрый и удобный метод контроля concentra-

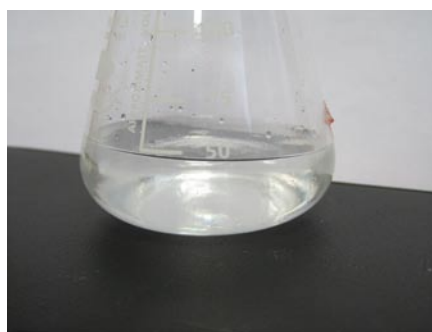


Рис. 9. Подготовка раствора для проведения контроля



Рис. 10. Окрашивание раствора при добавлении фенолфталеинового индикатора

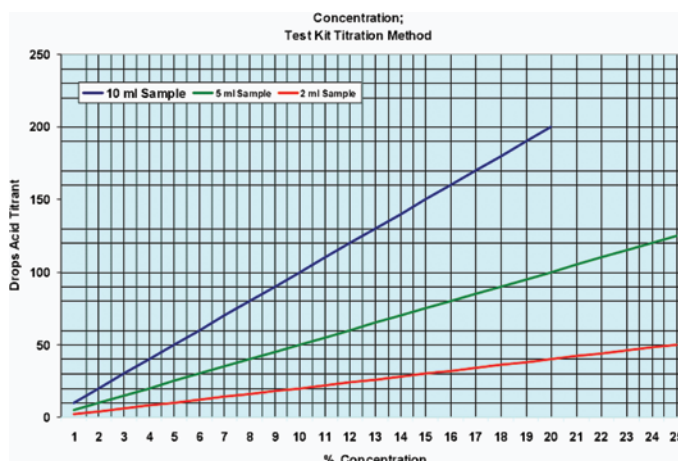


Рис. 11. Зависимость концентрации промывочной жидкости от количества капель титра



Рис. 12. Рефрактометры производства компании ATAGO, Япония

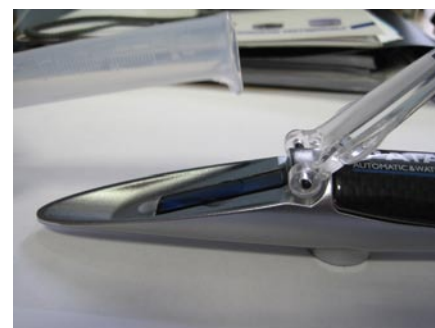


Рис. 13. Нанесение промывочной жидкости на призму рефрактометра

ции — с использованием рефрактометра.

### Контроль концентрации с использованием рефрактометра

Данный метод контроля основан на определении коэффициента преломления промывочных жидкостей. Для его реализации необходимо наличие рефрактометра, который позволяет определять значение коэффициента преломления в заданном диапазоне (см. рис. 12). Ниже описана процедура контроля концентрации на примере жидкости Aquanox A4241:

- хорошо перемешайте промывочную жидкость;

- осуществите забор около 500 мл промывочной жидкости из рабочей емкости установки отмытки (для удобства);

- пипеткой осуществите забор образца жидкости, необходимого для определения концентрации рефрактометром;

- нанесите промывочную жидкость на призму рефрактометра (см. рис. 13);

- с использованием рефрактометра проведите измерение коэффици-



Показания ручного рефрактометра



Показания цифрового рефрактометра

Рис. 14. Результат определения значения коэффициента преломления с использованием различных рефрактометров

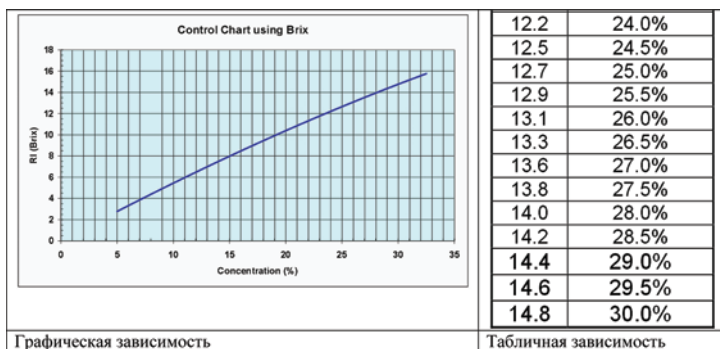


Рис. 15. Фрагмент таблицы соответствия концентрации промывочной жидкости показателю преломления раствора



Рис. 16. Совместимость промывочных жидкостей Кузен с различными металлами. Результаты испытаний. Отсутствие коррозии после продолжительного химического воздействия

ента преломления раствора промывочной жидкости (см. рис. 14);

– сопоставьте полученное значение коэффициента преломления с таблицей соответствия концентрации (см. рис. 15).

Определение концентрации промывочной жидкости путем изме-

рения коэффициента преломления раствора — наиболее быстрый и простой метод, позволяющий с высокой точностью определить концентрацию промывочной жидкости. В таблице 4 приведено сравнение методов контроля состояния промывочной жидкости путем измерения

Таблица 4. Сравнение различных методов контроля концентрации

	Титрование	Рефрактометр
Стоимость процесса	~ 300 Евро	~ 250 Евро
Время осуществления	~ 5...30 минут (в зависимости от необходимости корректировки концентрации)	~ 30 секунд
Тип химии	Неорганическая	Органическая/неорганическая
Измерение	Кислотное число	Коэффициент преломления
Шкала	Изменение цвета	Brix
Точность метода	Высокая	Высокая

ее концентрации различными методами.

### ИНГИБИТОРЫ

Рассматривая факторы, влияющие на результат отмывки ПУ, нельзя не упомянуть о специфических свойствах жидкостей на водной основе, которые непосредственным образом влияют на внешний вид ПУ после отмывки. Как уже было сказано ранее, к промывочным жидкостям на водной основе предъявляются высокие требования по эффективности удаления остатков флюсов современных паяльных паст. В большинстве своем остатки флюсов обладают кислотным показателем pH. В этой связи, для их эффективного удаления промывочная жидкость должна иметь щелочной показатель pH. Щелочные промывочные жидкости вступают в химическую реакцию с мягкими металлами, вызывая коррозию последних. Для предотвращения коррозии металлических частей, входящих в состав ПУ, промывочные жидкости содержат ингибиторы коррозии. Данные материалы уменьшают и нивелируют воздействие промывочной жидкости в процессе отмывки на олово, свинец, алюминий и прочие металлы (см. рис. 16).

Ингибиторы коррозии создают пассивирующий слой — тонкую пленку на поверхности металлов, которая препятствует доступу коррозионно-активной щелочной жидкости к поверхности металлов. Паяные соединения, алюминиевые теплоотводы, анодированный алюминий и медь надежно защищены от окисления в процессе отмывки с применением промывочных жидкостей Кузен. Ради справедливости стоит отметить, что большинство жидкостей на водной основе, присутствующих на рынке, несмотря на то, что содержат в своем составе ингибиторы коррозии, оставляют после отмывки матовые паяные соединения и почерневшие алюминиевые детали ПУ. В первую очередь, это говорит о том, что ингибиторы подобраны и действуют неэффективно. Промывочные жидкости Кузен разрабатывались экспертами с многолетним опытом не только в области электроники, но также и в медицине и металлообработке, где вопросам защиты от коррозии уделяется большое внимание. И при соблюдении реко-

мендуемых производителем параметров процесса отмычки потребители отмечают высокое качество отмычки при отсутствии эффектов воздействия на металлические части (см. рис. 17).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной статьи были рассмотрены факторы, влияющие на качество отмычки ПУ при использовании промывочных жидкостей на водной основе.

Обобщая приведенную выше информацию, можно сделать ряд практических выводов, которые необходимо учитывать при выборе промывочных жидкостей и при их использовании:

1) Современные промывочные жидкости представляют собой сложную дисперсную систему, состоящую из множества различных компонентов;

2) На качество отмычки влияют 4 параметра процесса: время, температура, химический состав жидкости, механическая энергия;

3) Особое внимание следует уделить вопросу контроля концентрации промывочных жидкостей;

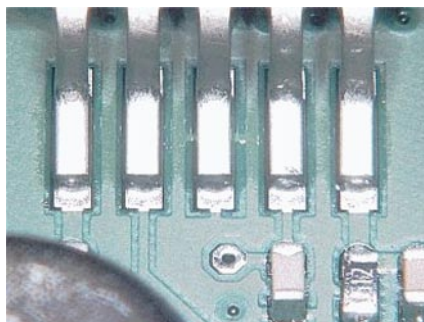


Рис. 17. Блестящие паяные соединения после отмычки жидкостями Кузен

4) Наиболее сложная техническая задача — удаление остатков флюсов под корпусами компонентов. Для решения этой задачи должны применяться современные промывочные жидкости, обладающие малым поверхностным натяжением;

5) Для предотвращения окисления металлических составляющих ПУ в процессе отмычки рекомендуется применять промывочные жидкости, содержащие ингибиторы коррозии.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Смирнов А.М. Кузен — перемены к лучшему! Новое слово в отмычке печатных узлов. — *Производство электроники: техно-*

*логии, оборудование, материалы*, №4. — М, 2010

2. Смирнов А.М. Анализ влияния подтравов печатных проводников на волновое сопротивление линии передачи в печатных платах. — *Сборник научных трудов «Электромагнитная совместимость и проектирование электронных средств»*. — МИЭМ. — М, 2008. — с. 85-88.

3. Кашапов М. Тестер оценки ионных загрязнений Zero-Ion. — *Технологии в электронной промышленности*, №3. — М, 2006. — с. 69-70.

4. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение. — *Химия*. — Л, 1975.

5. Зимон А.Д. Коллоидная химия. — *Радиодэкон*. — М, 1997.