

# Промывочные жидкости на водной основе. Как они работают?

**Отмывка в производстве электроники сегодня является актуальной темой для обсуждения и дискуссий, когда речь заходит об обеспечении надежности радиоэлектронных изделий. Задачи этой статьи — обратить внимание читателя на технологию отмывки с применением промывочных жидкостей на водной основе и дать понимание о физико-химических процессах, протекающих в процессе удаления загрязнений. В статье кратко рассмотрены основные механизмы удаления загрязнений с поверхности печатных узлов при использовании жидкостей на водной основе.**

Александр Смирнов

a.smirnov@global-smt.ru

## Введение

Промывочные жидкости на водной основе нашли широкое применение в радиоэлектронной промышленности [1]. Типичными примерами подобных материалов являются продукты, выпускаемые под торговыми марками Vigon, Aquanox, AIMterge и др. По сравнению с традиционными жидкостями на основе растворителей промывочные среды на водной основе обладают рядом преимуществ. Они негорючие и не требуют пожаробезопасного исполнения оборудования, обладают высокой эффективностью по удалению остатков флюсов современных паяльных паст, как оловянно-свинцовых, так и бессвинцовых. Кроме того, применение жидкостей на водной основе позволяет снизить себестоимость процесса отмывки вследствие того, что эти материалы поставляются в виде концентрата, который разводится водой до рабочего состояния.

Методика удаления загрязнений жидкостями на основе органических растворителей широко известна. Принцип действия растворителей, как следует из их названия, заключается в растворении загрязнений и переносе их в рабочий объем жидкости. В то же время принцип действия промывочных жидкостей на водной основе для большинства инженеров-технологов остается загадкой. Из-за этого возникает определенное недоверие к подобным жидкостям и сомнение в их эффективности. И это неудивительно. Ведь подробное описание работы жидкостей на водной основе встречается крайне редко, а если и встречается, то в специализированной химической литературе. Конечно, существуют модели, примитивно описывающие технологию удаления загрязнений жидкостями на водной основе, однако зачастую они вызывают массу вопросов по причине своей неоднозначности и противоречия физическим законам [2–6].

Сегодня вопросам отмывки печатных узлов (ПУ), а особенно вопросам качественной отмывки печатных узлов от остатков флюса, уделяется особое внимание. Никакое влагозащитное покрытие

не обеспечит надежность изделия при эксплуатации в жестких климатических условиях, если отмывка была произведена некачественно и на поверхности ПУ имеются загрязнения. Это аксиома. Примеров более чем достаточно.

Согласитесь, сложно оптимизировать технологию отмывки, контролировать ее параметры, получать стабильно качественный результат без понимания процессов, которые протекают при удалении загрязнений. Особенно остро этот вопрос стоит при использовании жидкостей на водной основе.

В рамках этой статьи автор попытался объяснить принципы работы современных промывочных жидкостей на водной основе, оперируя данными о химическом составе жидкостей и физических процессах, протекающих при отмывке печатных узлов. При описании химического состава жидкостей автор основывался на материалах производства компании Kuzen, США.

Выбор производителя промывочных жидкостей не случаен. Специалисты Kuzen одни из немногих, кто открыто говорит о составе своих жидкостей, называя вещи своими именами.

Линейка продукции компании Kuzen включает целый ряд инновационных жидкостей на водной основе для использования в электронике [7]. В зависимости от особенностей организации конкретного технологического процесса каждый сможет

**Таблица.** Промывочные жидкости Kuzen для удаления остатков флюсов

Технология отмывки	Вид агитации			
	Струи в воздухе (струйные системы отмывки)	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

подобрать промывочную жидкость Kyzen для своего применения (таблица).

В рамках статьи рассматриваются только жидкости на водной основе. Применительно к продукции Kyzen для электронной промышленности — это линейка жидкостей, выпускаемых под торговой маркой Aquapox. Далее, на примере продуктов Aquapox, будут рассмотрены физико-химические процессы, протекающие при отмывке ПУ.

### Свойства промывочных жидкостей

Промывочная жидкость — ключевой фактор, влияющий на результат процесса отмывки. Химический состав промывочных жидкостей на водной основе — сложен и представляет собой совокупность растворителей, поверхностно-активных веществ (ПАВ), пеногасителей, различных присадок, стабилизаторов, ингибиторов коррозии и т. д. (рис. 1).

Все новое — это хорошо забытое старое. Теория моющего действия разработана еще в 30-е годы XX века академиком П. А. Ребиндером. Согласно этой теории моющую способность определяют три основных фактора: поверхностная активность, механическая прочность и вязкость адсорбционных пленок, которая зависит от степени дисперсности моющего вещества в растворе [8].

На основе общих положений теории процесс удаления загрязнений с поверхности ПУ растворами промывочных жидкостей может быть представлен следующей схемой.

При нанесении промывочной жидкости на загрязненную поверхность и возникновении контакта с каплями и пленками загрязнения начинается вытеснение последнего. Одновременно с вытеснением загрязнения происходит его эмульгирование и солюбилизация. Далее явления эмульгирования и солюбилизации будут объяснены более подробно.

Механическая интенсификация процесса отмывки (ультразвуковая агитация, воздействие струй жидкости, барботаж) позволяет повысить эффективность удаления загрязнений с поверхности ПУ.

Относительно крупные частицы загрязнений могут вторично осаждаться из раствора на поверхность, однако, благодаря сорбции молекул промывочной жидкости на границах разделов фаз «жидкость – печатный узел», капли не закрепляются на ней и при малейшем механическом воздействии вновь отрываются.

Рассмотрим составляющие промывочных жидкостей на водной основе и их роль в процессе отмывки.

### Растворители

Для удаления загрязнений необходимо, во-первых, отделить их от поверхности, во-вторых, перевести в растворитель, которым обрабатывается поверхность, и, в-третьих, удержать загрязнения в нем до его удаления с поверхности, исключив всякую возможность их повторного осаждения на поверхность. Применяемые в составе промывочных жидкостей органические растворители эффек-

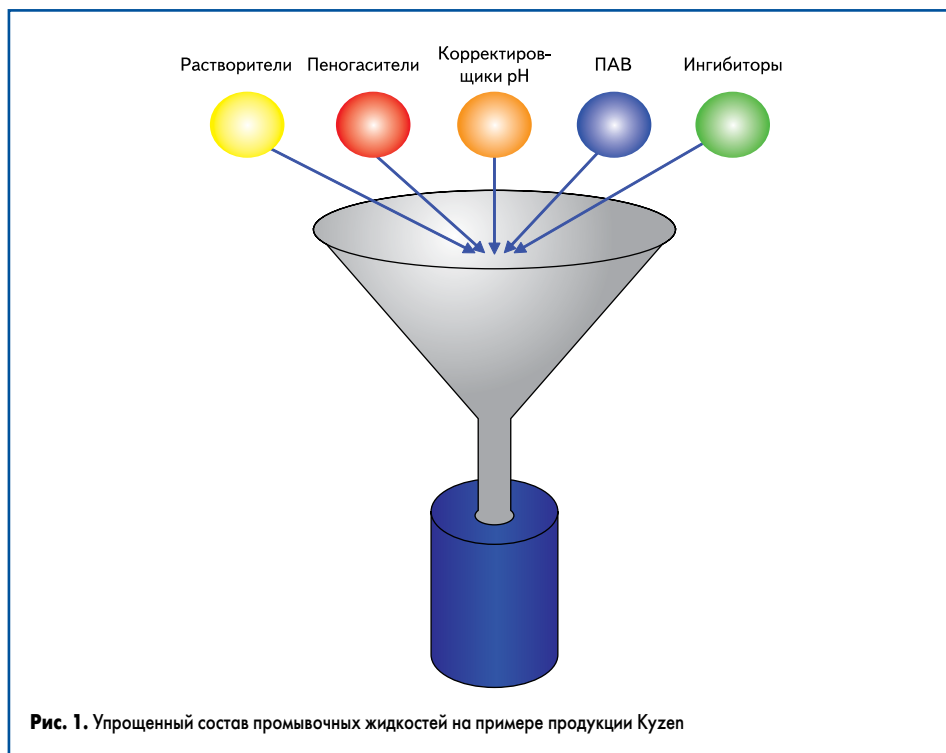


Рис. 1. Упрощенный состав промывочных жидкостей на примере продукции Kyzen

тивно растворяют канифоль и различные синтетические смолы, присутствующие в составе флюсов большинства паяльных паст. Под воздействием растворителей, входящих в состав промывочной жидкости, увеличивается скорость отмывки ПУ от остатков канифольных флюсов.

Растворители в составе промывочной жидкости работают по принципу «подобное растворяется в подобном» (рис. 2), избирательно взаимодействуя с различными составляющими флюсующей композиции. Процесс растворения в растворителях — кинетический. Количественный показатель этого процесса — его скорость. Скорость растворения определяется в общем случае химическим составом растворителя и растворяемых загрязнений, температурой, агитацией раствора и поверхностным натяжением жидкости. Концентрация растворителей в жидкостях на водной основе крайне мала. В этой связи жидкости не являются горючими и легковоспламеняющимися. Растворители выполняют вспомогательные функции, повышая эффективность удаления загрязнений с поверхности ПУ.



Рис. 2. «Подобное растворяется в подобном»

### Корректировщики pH

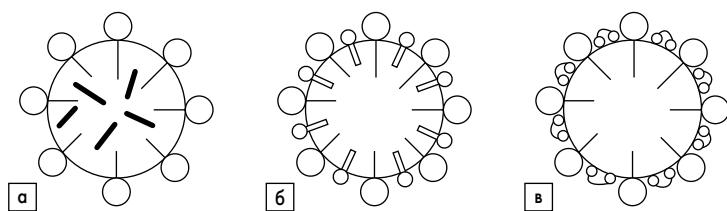
Промывочные жидкости на водной основе обладают щелочным pH, значение которого для незагрязненных растворов находится в пределах 9–11, в зависимости от типа жидкости. Корректировщики pH позволяют:

- поддерживать значение pH в заданных пределах;
- увеличить скорость отмывки.

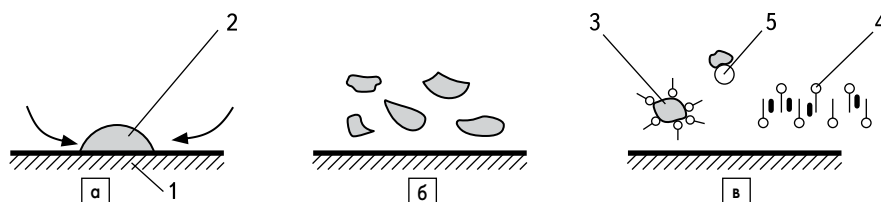
Для эффективного удаления остатков флюсов, большинство из которых содержат натуральную или модифицированную канифоль, промывочная жидкость должна иметь щелочной показатель pH. Кроме того, щелочная промывочная жидкость, взаимодействуя со слабыми кислотами, образует буферный слой, который поддерживает постоянным значение pH. Оптимальное значение pH промывочных жидкостей на водной основе находится в пределах 9–11. Подобное значение предотвращает повторное попадание на поверхность ПУ загрязнений и ионных составляющих флюсов.

### Поверхностно-активные вещества

Среди потребителей промывочных жидкостей существует мнение, что, если жидкость содержит поверхностно-активные вещества, ее эффективность и срок жизни крайне ограничены. Такое представление ошибочно. Наличие поверхностно-активных веществ в составе промывочных жидкостей на водной основе является обязательным условием, при выполнении которого такие материалы будут эффективно удалять остатки загрязнений с поверхности ПУ. Как было сказано ранее, процесс удаления загрязнений с твердых поверхностей состоит из вытеснения загрязнений, их эмульгирования и солюбилизации. На каждой стадии поверхностно-активные вещества принимают активное участие в протекающих физико-химических процессах.



**Рис. 3.** Солюбилизация различных веществ в мицеллах сферической формы: а) неполярных; б) с одной полярной группой и гидрофобной частью; в) содержащих несколько полярных групп



**Рис. 4.** Стадии действия ПАВ: а) смачивание: 1 — обрабатываемая поверхность, 2 — частицы загрязнений; б) отрыв частиц загрязнений и их дробление; в) удержание загрязнений в растворе за счет эмульгирования (3), солюбилизации (4), пенообразования (5)

Поверхностная активность, то есть способность понижать поверхностное натяжение промывочной жидкости, — одно из основных свойств ПАВ. Уменьшение сил поверхностного натяжения позволяет промывочной жидкости проникать в труднодоступные места под корпусами компонентов и удалять загрязнения.

Поверхностно-активные вещества представляют собой органические молекулы. В составе промывочных жидкостей в основном применяются низкомолекулярные ПАВ, имеющие гидрофильную и гидрофобную форму. Молекулы ПАВ подразделяются на две группы: истинно растворимые в воде и коллоидные. Коллоидными называют такие ПАВ, молекулы которых способны образовывать в растворе мицеллы [8], то есть агрегаты из десятков и сотен молекул ПАВ. Благодаря этому растворы коллоидных ПАВ обладают высокой смачивающей способностью, а также солюбилизирующим и моющим действием.

Солюбилизация заключается в растворении в коллоидных ПАВ различных загрязнений. Этот процесс связан с проникновением растворимых загрязнений с поверхности ПУ внутрь мицелл. Механизм солюбилизации упрощенно показан на рис. 3. Способы включения молекул в мицеллы могут быть разными. Молекулы неполярных веществ (углеводородов), внедряясь в мицеллы, растворяются в их ядре и располагаются хаотично между цепями молекул моющих веществ. Если же солюбилизируются молекулы полярных органических веществ (спирты, амины), то они располагаются между молекулами ПАВ, ориентируясь параллельно им, при этом полярные группы обращаются в водную фазу.

Мицеллы образуются при превышении некоторой, определенной для каждой промывочной жидкости, концентрации, называемой критической концентрацией мицеллообразования (ККМ). Углеводородные радикалы ПАВ, «слипаясь» за счет ван-дер-ваальсовых сил, образуют внутреннюю жидкообразную

часть (ядро) мицелл, а полярные группы обращаются в водную фазу. ККМ возникает в определенном интервале. При концентрации ПАВ выше ККМ происходит увеличение числа мицелл и изменяется их форма [8].

Мицеллы возникают при ККМ и распадаются при разбавлении раствора. Поддержание количества мицелл в растворе в определенных пределах обуславливает необходимость регулярного контроля концентрации промывочных жидкостей. Подобные растворы способны образовывать устойчивые эмульсии, суспензии, а также солюбилизовать органические соединения, не растворимые в воде, то есть они обладают комплексом свойств, обуславливающих моющее действие.

В разбавленных растворах моющих веществ, применяемых на практике, мицеллы сферичны, состоят из 50–100 плотно упакованных молекул.

Мицеллообразование резко изменяет физико-химические свойства — плотность, растворимость, электропроводность, коэффициент преломления и др.

Именно благодаря наличию в составе промывочных жидкостей ПАВ, их эффективную рабочую концентрацию можно определить путем измерения коэффициента преломления [1].

Упрощенно стадии отмытки с использованием водных растворов коллоидных ПАВ представлены на рис. 4 [8].

Первая стадия процесса обусловлена смачиванием обрабатываемой поверхности жидкостью, содержащей ПАВ. В результате смачивания снижается адгезия загрязнений.

После удаления загрязнений происходит их дробление, в результате которого образуются мелкие частицы загрязнений. Эти частицы переходят в раствор. На третьей стадии процесса осуществляется удержание этих частиц в растворе и предотвращение их повторного оседания на обрабатываемую поверхность. Удержание определяется коллоидно-

химическими свойствами и прежде всего солюбилизацией [8].

Поверхностно-активные вещества в составе промывочных жидкостей на водной основе выполняют целый ряд функций, обуславливающих их широкое распространение в радиоэлектронной промышленности. Однако следует отметить, что современные промывочные жидкости, коими, без сомнения, являются жидкости производства компании Кузен, помимо растворителей, корректировщиков pH и ПАВ содержат также дополнительные компоненты. Без этих дополнительных составляющих, о которых будет рассказано далее, применение жидкостей на водной основе для отмытки ПУ было бы нецелесообразным.

### Другие составляющие

Эта категория компонентов промывочной жидкости выполняет две важные функции:

- 1) Контроль пенообразования промывочной жидкости.
- 2) Уменьшение и нивелирование воздействия промывочной жидкости на металлические поверхности в процессе отмытки.

### Пеногасители

При использовании струйных систем отмытки пенообразование связано с механическим воздействием высоконапорных струй промывочной жидкости, в состав которой входят поверхностно-активные вещества на обрабатываемую поверхность. В результате соударения струй с поверхностью, струй между собой и вовлечения частиц воздуха в объем движущейся струи происходит формирование пузырьков пены, представляющих собой воздух, заключенный в оболочку из промывочной жидкости (рис. 5). Быстрое заполнение

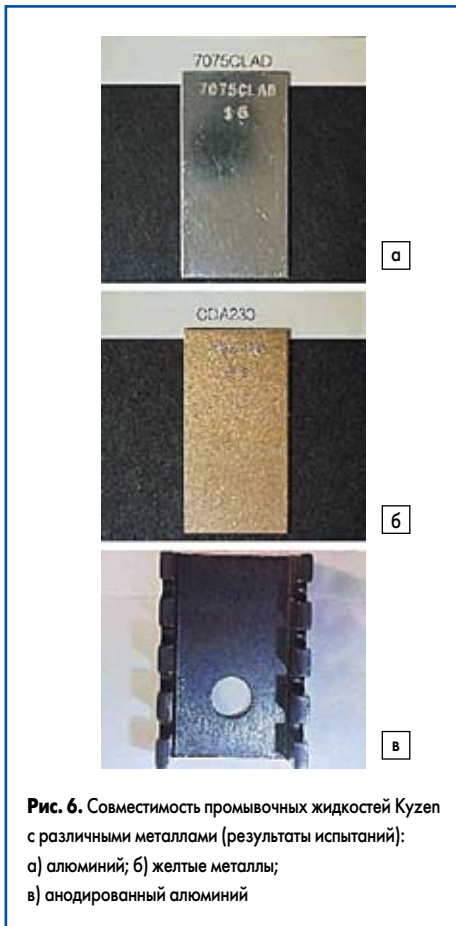


**Рис. 5.** Пена на поверхности раздела жидкость–воздух

емкости с жидкостью, а также высокое давление струй жидкости в процессе отмытки создают условия для появления и роста плотной пены. Для того чтобы прекратить и предотвратить образование пены, в состав промывочных жидкостей на водной основе входят пеногасители. Кроме того, входящие в состав промывочной жидкости водорастворимые органические растворители способствуют разрушению пены и улучшают характеристики промывочных жидкостей.

### Ингибиторы коррозии

Еще одной важной по своим свойствам группой материалов, входящих в состав про-



**Рис. 6.** Совместимость промывочных жидкостей Kyzen с различными металлами (результаты испытаний):  
 а) алюминий; б) желтые металлы;  
 в) анодированный алюминий

мывочных жидкостей Kyzen на водной основе, является группа ингибиторов коррозии. Эти материалы уменьшают и нивелируют воздействие промывочной жидкости в процессе отмывки на олово, свинец, алюминий и прочие металлы (рис. 6). Наблюдается отсутствие коррозии после продолжительного химического воздействия.



**Рис. 7.** Блестящие паяные соединения после отмывки жидкостями Kyzen

Щелочные промывочные жидкости вступают в химическую реакцию с мягкими металлами. Ингибиторы коррозии создают пассивирующий слой — тонкую пленку, 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 Kyzen на водной основе (рис. 7).

Автор кратко рассказал о технологии удаления загрязнений с применением промывочных жидкостей на водной основе. В статье рассмотрены отдельные составляющие комплексного процесса удаления загрязнений с поверхности ПУ. Конечно, далеко не вся информация о химическом составе жидкостей раскрывается производителем. Точное процентное соотношение компонентов, их химический состав останутся в тайне. Представленная информация может помочь понять процессы, протекающие при удалении загрязнений с поверхности ПУ.

#### Литература

1. Смирнов А. М. Промывочные жидкости на водной основе. Факторы, влияющие на качество отмывки // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2010. № 8.
2. Ries-Frohberg J., Rietheim W., Harein A. New cleaning concepts helps! // EPP Europe. Sept./Oct. 2008.
3. Schweigart H. Do coatings need to be cleaned? // OnBoard technology. June 2004.
4. Особенности МРС-технологии отмывки // Поверхностный монтаж. 2003. № 3.
5. Muhlbauer A. L., Strixner S. True cost of In-line Cleaning // OnBoard technology. Oct. 2003.
6. Уразаев В. Влагозащита печатных узлов. М.: Техносфера, 2007.
7. Смирнов А. М. Kyzen — перемены к лучшему! Новое слово в отмывке печатных узлов // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2010. № 4.
8. Зимон А. Д. Коллоидная химия: своеобразный мир частиц. М.: Радэкон, 1997.