

# Процессы отмывки и влагозащиты в радиоэлектронном производстве

О. Китаев<sup>1</sup>

Отмывка и влагозащита идут бок о бок друг с другом, в том числе зачастую и по технологическому процессу. Без качественной очистки поверхности невозможно гарантировать надежность и долговечность влагозащиты. В данной статье мы постараемся рассмотреть нюансы подбора оборудования и материалов, а также самих процессов отмывки и влагозащиты.

Для производства современных электронных устройств с высокими требованиями к надежности, обеспечения наилучшей работоспособности и уменьшения отказов печатных узлов одним из ключевых этапов производственного процесса в радиоэлектронике считается отмывка. В данной статье мы рассмотрим процессы отмывки и особенности подбора оборудования и отмывочных жидкостей на примере немецкой компании kolb CLEANING TECHNOLOGY, которая по праву считается одним из надежнейших производителей систем струйной отмывки.

Отмывка – это комплексный процесс. Это и удаление загрязнений с поверхности печатных узлов (ПУ), и тщательная очистка трафарета для качественного нанесения паяльной пасты, и удаление остатков флюса, нагара и других загрязнений с элементов конструкции машин.

Для очистки элементов конструкции машин компания kolb CLEANING TECHNOLOGY использует технологию барботаж. Смысл процесса в том, что газ поступает по трубопроводам на дно ванны, где он выходит через мелкие отверстия. Под действием поднимающихся пузырьков жидкость активно перемешивается, что ускоряет процесс вывода загрязнений в раствор.

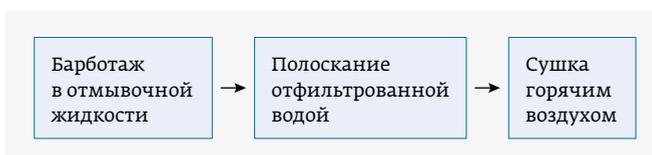


Рис. 1. Последовательность процессов в системах серии AF kolb CLEANING TECHNOLOGY

Серия систем на основе барботажа у kolb CLEANING TECHNOLOGY называется AF (AirFlow). В данной серии все процессы – отмывка мощней жидкостью, ополаскивание и сушка (рис. 1) – происходят в одной камере.

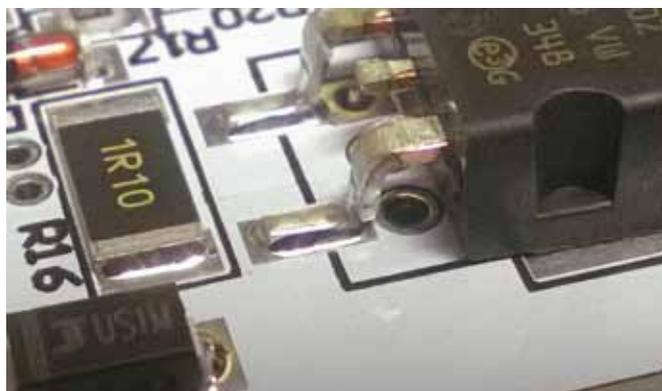
Системы серии AF предназначены для отмывки систем улавливания конденсата, паяльных рамок, контейнеров, деталей машин и станков и т. д. В зависимости от выбранной модели (рис. 2) они позволяют работать с элементами от 385 × 460 × 480 мм (AF3) до 770 × 1280 × 600 мм (AF75).

Наиболее эффективной и универсальной технологией для отмывки трафаретов и печатных плат считается распыление струй в воздухе, так как этот метод не имеет минусов, которые присущи УЗ-системам (риск повреждения



Рис. 2. Модельный ряд серии AF kolb CLEANING TECHNOLOGY. Слева направо: AF03, AF04, AF20, AF30, AF75

<sup>1</sup> ООО «АссемРус», старший менеджер проектов, o.kitaev@assemrus.ru.



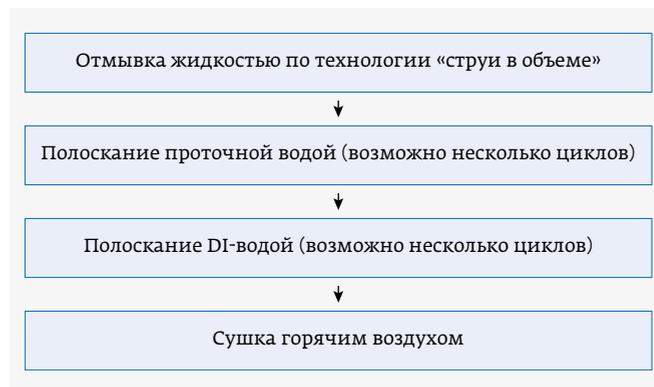
**Рис. 3.** Результаты отмывки в системе kolb CLEANING TECHNOLOGY LH5

чувствительных компонентов), технологии «струй в объеме» (низкая агитация в моющем растворе на расстоянии 10–15 см от сопел) или же отмывке в вакууме (угроза безопасности на участке в связи с низкой точкой вспышки паров отмывочной жидкости).

kolb CLEANING TECHNOLOGY имеет в своем портфеле более 30 систем струйной отмывки, различающихся по задачам (отмывка трафаретов, ПУ, деталей систем) и производительности (от 176 до 830 европлат за цикл).

Во всех системах струйной отмывки используются инновационные, запатентованные технологии производителя kolb CLEANING TECHNOLOGY:

- полностью автоматический трехэтапный (опционально до пяти) процесс очистки в одной камере: отмывка, промывка, сушка горячим воздухом с запатентованной инновационной системой VMH®;
- двойная вертикальная система роторов с асинхронными спрей-форсунками с функцией ASYNHRO® для тщательной очистки (без слепых зон);



**Рис. 4.** Последовательность процессов в системах серии PSE/AQUBE kolb CLEANING TECHNOLOGY

- функция MediumWipe® для продува труб с целью уменьшения расхода отмывочной жидкости, снижение расхода до 20%;
- PolyPower® – система увеличения силы давления за счет насоса и форсунок (сила давления в три раза выше, на 30% снижено время цикла, более чем в два раза выше качество отмывки).

kolb CLEANING TECHNOLOGY предлагает две серии систем струйной отмывки: премиальную AQUBE и экономичную PSE; дополнительные возможности первой по сравнению со второй приведены в табл. 1. Последовательность процессов в системах серии PSE/AQUBE производства компании kolb CLEANING TECHNOLOGY приведена на рис. 4, основные характеристики систем серий PSE и AQUBE – в табл. 2 и 3 соответственно.

После выбора отмывочной системы самым важным этапом является подбор отмывочной жидкости в зависимости от объектов очистки и материалов, из которых

**Таблица 1.** Расширение функционала системы AQUBE в сравнении с системой PSE

Функция	AQUBE-серия	PSE-серия
PolyPower pump-nozzles (в три раза более мощный напор воды /отмывочной жидкости на форсунках увеличивает производительность на 30%)	Да	Нет
SF-ready (готовность к технологии INDUSTRY 4.0; SF – smart factory)	Да	Нет
DNA access (удаленный доступ к программированию и управлению системой)	Да	Нет
Статусная светодиодная панель сбоку машины, подсветка логотипа	Да	Нет
Оptionальный картридж для фильтрации тяжелых металлов	Да	Нет
Быстрый сервисный доступ с любой стороны, петли можно повесить на любую сторону (слева или справа)	Да	Нет
Температура сушки, °C	120	90
Замкнутый цикл водоподготовки	Да	Нет

**Таблица 2.** Основные характеристики систем струйной отмычки в воздухе kolb CLEANING TECHNOLOGY серии PSE

Характеристика	PSE LH5	PSE LH7	PSE LX9	PSE300-серия	PSE300-2HY
					
Назначение	Очистка ПУ после всех циклов, гибридов (HDIs, SiPs)	Очистка ПУ после всех циклов, гибридов (HDIs, SiPs)	Очистка ПУ после всех циклов, гибридов (HDIs, SiPs)	Очистка трафаретов и ПУ после нанесения паяльной пасты и клея	Очистка ПУ после всех циклов, трафаретов
Тип отмычки	Горизонтальная струйная отмычка	Горизонтальная струйная отмычка	Горизонтальная струйная отмычка	Вертикальная струйная отмычка	Вертикальная струйная отмычка
Крепление отмываемых элементов	Корзины	Корзины	Корзины	Рама	Рама
Количество корзин	До 2	До 3	До 4	Рама	Рама
Вместимость системы	До 176 (2,8 м <sup>2</sup> ) европлат	До 540 (8,6 м <sup>2</sup> ) европлат	До 830 (19 м <sup>2</sup> ) европлат	Габариты рамы до 950×780 мм	Габариты рамы до 950×780 мм
Температура жидкости, °С	55 (стандарт), 80 (НТ-версия)				
Фильтрация	До трех этапов: 1. Фильтр грубой очистки 2. Фильтр осадков внутри бака 3. Фильтр тонкой очистки				
Емкость баков	А – 55 л В/С – 35 л	А – 55 л В/С – 35 л	А – 125 л В – 125 л С – 125 л	А – 100 л	А – 75 л В/С – 75 л

они изготовлены. kolb CLEANING TECHNOLOGY на протяжении более чем 25 лет разрабатывает и производит чистящую химию для электронной промышленности, специально адаптированную к разнообразным требованиям этой отрасли.

В табл. 4 приведены рекомендации, позволяющие выбрать отмывочное средство, наилучшим образом подходящее для конкретной задачи и технологии.

При текущих экономических условиях большинство компаний-изготовителей пытается снизить производственные затраты путем экономии на материалах, в том

числе и на отмывочной жидкости. Однако надо понимать, что успешно проведенные тесты совместимости и качества отмычки недорогой отмывочной жидкостью не в полной мере характеризуют экономический эффект выбора. В табл. 5 приведено сравнение продукта компании kolb CLEANING TECHNOLOGY с российским отмывочным средством (Жидкость X) по результатам тестирования, проведенного специалистами ООО «АссемРус» на базе одного из наших клиентов.

Данные табл. 5 наглядно показывают, что одна лишь стоимость 1 л жидкости не должна быть единственным

Таблица 3. Основные характеристики систем струйной отмывки в воздухе kolb CLEANING TECHNOLOGY серии AQUBE

Характеристика	AQUBE® LH5	AQUBE® LH7	AQUBE® XH9	AQUBE® PH7	AQUBE® PH9
					
Назначение	Очистка ПУ после всех циклов, гибридов (HDIs, SiPs)	Очистка ПУ после всех циклов, гибридов (HDIs, SiPs)	Очистка ПУ после всех циклов, гибридов (HDIs, SiPs)	Очистка элементов конструкции машин, токарных и фрезерных деталей	Очистка элементов конструкции машин, токарных и фрезерных деталей
Тип отмывки	Горизонтальная струйная отмывка	Горизонтальная струйная отмывка	Горизонтальная струйная отмывка	Горизонтальная струйная отмывка и барботаж	Горизонтальная струйная отмывка и барботаж
Крепление отмываемых элементов	Корзины	Корзины	Корзины	Корзины или ротационные корзины	Корзины или ротационные корзины
Количество корзин	До 2	До 3	До 4	2 ротационные корзины (Ш 185 × Г 340 × В 190 мм), отмывочный барабан (ø300 × Ш 400 мм) или до 3-х корзин	6 ротационных корзин (Ш 185 × Г 340 × В 190 мм), отмывочный барабан (ø630 × Ш 650 мм) или до 4-х корзин
Вместимость системы	До 176 (2,8 м <sup>2</sup> ) европлат	До 540 (8,6 м <sup>2</sup> ) европлат	До 830 (19 м <sup>2</sup> ) европлат	Ш 610 × Г 625 × В 625 мм	Ш 880 × Г 890 × В 760 мм
Температура жидкости, °С	55 (стандарт), 80 (НТ-версия)				
Фильтрация	До четырех этапов: 1. Фильтр грубой очистки 2. Фильтр осадков внутри бака 3. Фильтр тонкой очистки 4. Фильтр тяжелых металлов			До пяти этапов: 1. Фильтр грубой очистки потока <2 мм 2. Каскадный фильтр осадка внутри резервуара 3. 20" ВВ мешочный фильтр 100 мкм 4. Масляный скиммер для очистки бака 5. Фильтр НМА	
Емкость баков	А – 55 л В/С – 35 л	А – 55 л В/С – 35 л	А – 125 л В – 125 л С – 125 л	А – 55 л В/С – 35 л	А – 125 л В/С – 125 л

Таблица 4. Рекомендации по подбору отмывочной жидкости

Отмывочная жидкость	Нейтральный pH	Щелочь pH ≥ 9,5	Струи в воздухе	Барботаж	Ручная отмывка					
						Собранные печатные платы	Рамы, трафареты, несмонтированные печатные платы после нанесения пасты/клея	Паяльные рамы, маски	ESD-контейнеры/магазины	Конденсационные ловушки, фильтры
MULTIEX® VR	Щ	СВВ				++	++	++	++	+
MULTIEX® 3D	Щ	СВВ				++	++	+	+	-
MULTIEX® A12	Щ	СВВ	Б			++	+	++	++	+
MULTIEX® RAPID	Щ	СВВ	Б			++	+	+	+	-
MULTIEX® GS	Н	СВВ				+	++	+	+	-
MULTIEX® B11	Щ	СВВ	Б			+	++	++	++	+
MULTIEX® N8	Н	СВВ				+	++	+	+	-
MULTIEX® N7-TS	Н	СВВ	Б			+	++	+	+	-
MULTIEX® SC	Щ	СВВ				+	++	+	+	-
CONTRAFLUX® Basic	Щ		Б	PO		-	-	++	++	+
CONTRAFLUX® BS	Щ	СВВ	Б	PO		-	+	++	++	+
CONTRAFLUX® FM	Щ		Б	PO		-	-	+	+	++

Примечание. Обозначения в таблице: «++» — наиболее подходящий, «+» — подходит, «-» — не подходит.

Таблица 5. Сравнение эффективности применения отмывочной жидкости MULTIEX® VR с одним из российских отмывочных средств

Показатель	Жидкость X	MULTIEX® VR
Общий расход жидкости, л/мес.	53	25
Цена за литр жидкости, €	8	12
Количество полных замен бака за 1 месяц	3	1
Длительность цикла отмывки, с	1 270	860
Затраты на концентрат в год на одну установку, €	5 088	7 488
Экономический эффект при использовании MULTIEX® VR, несмотря на первоначально более высокую стоимость, € в год		2 400
Увеличение производительности при использовании MULTIEX® VR, %		33

критерием выбора; для объективного сравнения необходимо учитывать следующие показатели:

- качество отмытки по результатам тестов;
- срок жизни жидкости без замены;
- расход жидкости в процессе отмытки;
- производительность отмывочной системы при использовании конкретной жидкости;
- скорость логистики поставщика и наличие на складе.

После подбора оборудования и отмывочной жидкости можно переходить к следующему этапу – нанесению влагозащитного слоя на печатную плату. Данный процесс неразрывно связан с предыдущим, так как от качества отмытки будет зависеть адгезия влагозащитного слоя к печатной плате, стойкость и защитные свойства слоя, а также вероятность короткого замыкания проводников

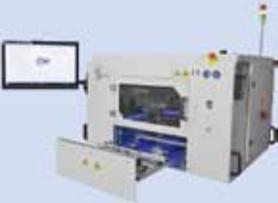
под влагозащитой из-за наличия остатков химических веществ, способных диссоциировать на ионы и, следовательно, проводить электрический ток. Поэтому влагозащитный состав можно наносить только на качественно вымытую печатную плату.

Методов нанесения влагозащитного слоя много; мы остановимся на самом технологичном – автоматизированном нанесении. Критерии подбора модели оборудования и комплектации разберем на примере известного испанского производителя INNOMELT SPAIN.

В портфеле этого производителя есть три системы: две отдельностоящие – CF440 и CF440LC – и встраиваемая в линию CF395IL (табл. 6).

Все системы универсальны, готовы к работе как с вязкими, так и жидкими материалами; в зависимости от

**Таблица 6.** Основные характеристики систем селективной влагозащиты компании INNOMELT SPAIN

Характеристика	Настольные системы, ручная загрузка		Напольная система, встраиваемая в линию
	CF440	CF440LC	CF395IL
			
Габариты ПП	500×500 мм	450×450 мм	Стандарт до 500×500 мм. Опция 900×500 мм
Назначение системы	Мелкая серия	Мелкая серия	Средняя / крупная серия
Количество степеней свободы	5 (X, Y, Z, поворот, проворот)	4 (X, Y, Z, поворот)	5 (X, Y, Z, поворот, проворот)
Точность по осям X, Y, Z	10 мкм	10 мкм	10 мкм
Тип загрузки / выгрузки	Ручной (автоматизированное выдвигание рабочей зоны)	Ручной	Автоматизированный конвейерный
Клиренс ПП сверху / снизу	100 мм	100 мм	100 мм
Количество насадок на голове	Максимум 3	Максимум 1	Максимум 3
Используемые клапаны	Спрей, игольчатый, золотниковый, шнековый	Спрей, игольчатый, золотниковый, шнековый	Спрей, игольчатый, золотниковый, шнековый
Работа с двух- и однокомпонентными лаками	Возможна	Возможна	Возможна
Габариты системы	1 125×907×715 мм	900×800×804 мм	1 289×1 500×1 604 мм

**Таблица 7.** Типы клапанов для системы селективной влагозащиты INNOMELT SPAIN и их применимость в зависимости от варианта нанесения, вида и вязкости наносимого материала

Тип	Пережимной (pinch)	Игла	Золотник	Золотник ВД	Пленочный	Шнек	Шнек НД	Шнек	Пульверизатор	
Модель	TS1212	TS5420	TS5440	TS5322	934/941	TS5620	TS5000	TS5000DMP	TS7000	TS5540
										
<b>Тип нанесения</b>										
Микроточка	-	+	++	+	-	+	++	+	++	-
Точка	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-
Линия	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-
Заливка и энкапсуляция	+	+	+	++	++	++	++	++	++	-
Высокое давление	-	-	-	++	++	-	-	-	-	-
Спрей	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++
<b>Вязкость материала</b>										
Высокая 100 000–100 000 000 cPs	-	-	-	++	++	-	++	++	++	-
Средняя 5000–100 000 cPs	-	-	-	++	++	-	++	++	++	-
Низкая 1–5 000 cPs	++	++	++	-	-	++	-	-	-	++
<b>Используемый материал</b>										
Лак на акриловой основе	++	++	++	+	+	++	-	-	-	++
Лак на основе эпоксидной смолы	+	+	+	+	+	-	++	++	++	-
Лак на основе силикона	++	++	++	+	+	++	-	-	-	++
Использование двухкомпонентных материалов	-	-	-	+	+	-	++	++	++	-

Примечание. Обозначения в таблице: «++» — наиболее подходящий, «+» — подходит, «-» — не подходит.



**Рис. 8.** Система Meter mix для смешивания двухкомпонентных лаков

выбранных клапанов будет различаться функционал системы. Выбор клапана зависит от следующих аспектов:

- конструктива печатной платы и необходимая зона нанесения. Например, если требуется полная заливка ПУ, то будет достаточно одного спрей-клапана;
- вида используемого материала и его вязкость, в зависимости от которой подбирается тип клапана;
- необходимой производительности нанесения;
- геометрии нанесения: микроточка, точка, линия и т.д.

Информация, позволяющая подобрать комплект клапанов для системы селективной влагозащиты INNOMELT SPAIN, наилучшим образом соответствующий задачам конкретного производства, приведена в табл. 7.

Для автоматизированного нанесения одним из самых сложных лаков был и остается УР-231, что связано с тремя аспектами, затрудняющими его применение:

- малое время полимеризации (спустя два-три часа лак меняет консистенцию);
- необходимость использования агрессивных растворителей, которые повреждают коммуникации оборудования;
- отсутствие возможности автоматизированного измерения вязкости в соответствии с ТУ 6-21-14-90. Требуется сначала смешать компоненты лака в соотношении 100:18, выдержать смешанный состав в течение 30 мин и только потом добавлять разбавитель, контролируя вязкость в абсолютных единицах по показаниям вискозиметра. Помимо сложности, такая процедура исключает возможность моментального смешивания и нанесения на ПП.

Еще в 2015 году ООО «АссемРус» совместно с испанским производителем INNOMELT SPAIN решили все три аспекта, которые препятствовали автоматическому нанесению УР-231.

1. Разработано программное обеспечение для поддержки технического обслуживания. В случае

простая машины более 2–3 ч оператор получает сигнал о необходимости промыть систему растворителем – смесью ксилола и бутилацетата, залив его в емкость для лака и пропустив через коммуникации системы. Если этого не сделать своевременно, лак засохнет в трубках и клапанах, тем самым сделав невозможным последующие операции нанесения.

2. Все емкости, трубки, фитинги, уплотнители разработаны из материалов, устойчивых к ксилолу и бутилацетату.
3. В соответствии с ТУ 6-21-14-90 нет возможности смешивать лак напрямую в дозирующей голове, так как ему необходимо полчаса выдержки. Поэтому специально для двухкомпонентных лаков была разработана независимая от основного контура влагозащиты система – Meter mix system. Данная система имеет следующие характеристики:
  - две емкости для двух компонентов (отвердитель ДГУ и полуфабрикатный лак УР-0231);
  - сервоконтроллер для точной подачи компонентов лака в необходимом соотношении (пропорция задается оператором);
  - система преднагрева (до 60 °С);
  - система дегазирования;
  - клапан для смешивания двух составляющих лака.

Принцип работы прост: из двух емкостей в определенных пропорциях, запрограммированных ранее в соответствии с показаниями приборов ВЗ-4 или ВЗ-246 (как сказано выше, для УР-231 это 100:18), поступает полуфабрикатный лак УР-0321 и ДГУ в статический смесительный клапан, откуда через статическую насадку подается уже смешанный однородный материал УР-231, который можно залить в бак емкостью от 2 до 20 л, в картридж или в адаптер, где его необходимо выдержать минимум полчаса. После выдержки лак УР-231 под давлением подается из этих емкостей на клапан дозирования самой влагозащитной системы.

Таким образом были решены все проблемы, препятствовавшие автоматическому нанесению УР-231. С момента выпуска первого серийного образца Meter mix прошло уже пять лет, на протяжении которых произведено много поставок систем INNOMELT SPAIN по всей территории Российской Федерации и Республики Беларусь, и больше всего поставлено машин именно для автоматического нанесения отечественного лака УР-231.

\*\*\*

В данной статье мы рассмотрели основные нюансы подбора оборудования и материалов, а также самих процессов отмытки и влагозащиты, на основе систем, поставляемых известными производителями kolb CLEANING TECHNOLOGY и INNOMELT SPAIN. ●