

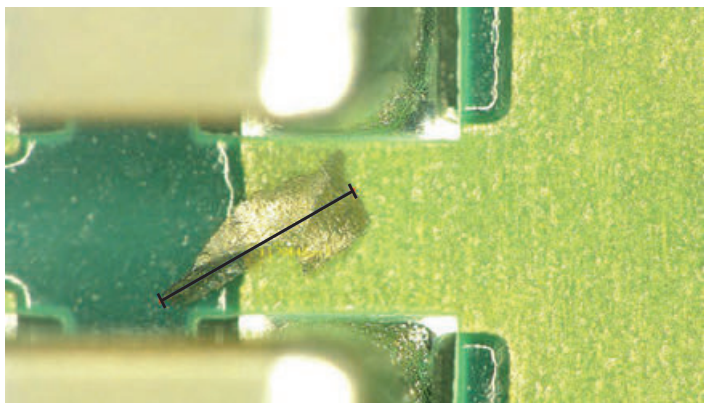
«ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧИСТОТА» В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОНИКИ. ОЦЕНКА РИСКОВ И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСТОТЫ

Текст: Михаэль Кови



Термин «техническая чистота» широко применяется и ассоциируется с автомобильной промышленностью, но требования к чистоте в соответствии со стандартом VDA 19¹ используются и в других отраслях, таких как медицина, инженерная механика, машиностроение. И в радиоэлектронной промышленности сегодня уделяют повышенное внимание чистоте печатных узлов. Требования к качеству и надежности производимой электронной продукции постоянно растут, а плотность монтажа компонентов и расстояние между контактными площадками уменьшаются, увеличивается удельная мощность электроники. Поэтому даже незначительное присутствие загрязнений может существенно повысить вероятность выхода из строя или нарушения работы изделия. Данная статья описывает риски, вызванные наличием загрязнений на печатных узлах, методы и стандарты определения наличия загрязнений, а также рекомендации по снижению количества загрязнений в электронике.

¹ VDA 19 – стандарт по критериям качества технической чистоты, разработанный Немецкой ассоциацией автомобильной промышленности



1
Частицы (размер прибл. 350 мкм) между контактными площадками компонентов

Техническая чистота: риски, вызванные загрязнениями печатных узлов

«Под чистой детали (компонента, печатного узла) подразумевается отсутствие частиц на поверхности, которые могут влиять или препятствовать дальнейшему производственному процессу или корректному функционированию детали (компонента, печатного узла)»². Данное определение указывает, что в процессе производства технически невозможно и экономически нецелесообразно организовать производство деталей без наличия на них загрязнений. Целью должно быть снижение концентрации потенциально опасных частиц до уровня, который является безопасным для производственного процесса или функционирования печатного узла. Потенциально опасные загрязнения, содержащие токопроводящие частицы и расположенные между контактами, могут привести к короткому замыканию и выходу платы из строя. Если частицы меньших размеров, чем расстояние между контактами, все равно существует опасность электрического пробоя и возникновения токов утечки из-за сокращения длины пути утечки (рис 1). Непроводящие частицы внутри соединителей и механических компонентов, таких как реле и переключатели, могут создавать изолирующий эффект и оказывать влияние на работу фотоэлектрических компонентов, например, фототранзисторов. Отдельно стоит отметить, что непроводящие, но гигроскопичные³ частицы с помощью поглощения молекул воды могут обрести токопроводящие свойства (напр., частицы бумажной упаковки, волокна перчаток или антистатической одежды). И наоборот – металлизированные частицы со временем в результате окисления могут стать не-

проводящими и утратить свое воздействие на электрические характеристики печатного узла.

Стандарты и методы определения технической чистоты

Через неисправностей в ходе эксплуатации коробок передач и систем впрыска топлива в 1990-е годы, вызванная наличием загрязнений и сторонних частиц, стала причиной образования в 2001 году в Германии промышленной ассоциации, которая сформировала и опубликовала в 2004 перечень требований к технической чистоте под названием VDA 19. Этот сборник, его последняя версия вышла в 2015 году, определяет методы сбора частиц с поверхности, методику анализа загрязнений и интерпретацию результатов. Данные требования были обозначены в международном стандарте ISO 16232 в 2007 году. Второе издание стандарта VDA 19.2 «Техническая чистота в сборке» было издано в 2010 году с целью предоставить производителям руководство по созданию или оптимизации производственных процессов и технологических операций для предотвращения появления загрязнений в производственной цепочке.

В опубликованной в 2013 году директиве центрального объединения предприятий электротехнической промышленности (ZVEI) под названием «Техническая чистота в электротехнике» впервые появился раздел, посвященный контролю чистоты печатных узлов и производственных процессов электроники. Во втором издании данной директивы для проверки или оценки технической чистоты печатного узла рекомендуется использовать метод экстракции⁴. Экстракционная жидкость вместе с загрязнениями и частицами пропускается через мембрану, после чего все частицы, оставшиеся на ней, могут быть измерены и подсчитаны в автоматическом режиме с помощью оптического микроскопа (рис 2). Отражающие свойства частиц используются для определения их категории (металлические/неметаллические).

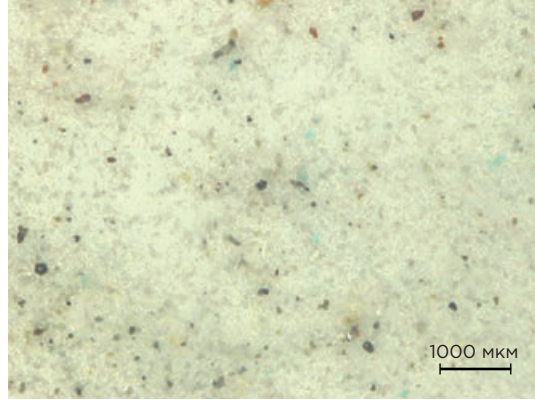
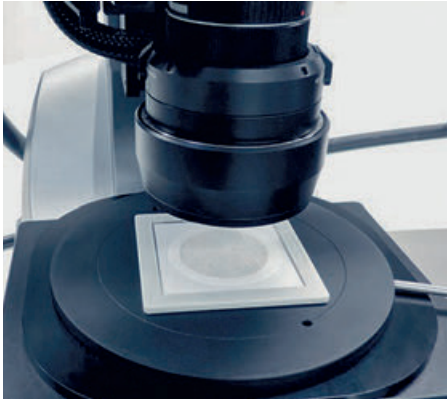
Как достичь технической чистоты?

В промышленности могут применяться две различные стратегии для достижения желаемого уровня технической чистоты в процессе производства (рис 3). Первая стратегия – кропотливый и достаточно затратный контроль всей производственной цепочки: закупка компонентов, логистика, процесс производства, упаковка, отправка клиенту. Чтобы соблюсти высокие требования, в отдельных случаях требуется организовывать производство в чистых помещениях. Если технология производства допускает появление загрязнений на отдельных этапах, то удаление частиц можно обеспечить на этапе отмывки в конце произ-

² Источник: Центральное объединение предприятий электротехнической промышленности – техническая чистота в электротехнике.

³ Гигроскопичность: способность вещества вбирать в себя влагу из воздуха

⁴ Методика доступна на сайте <https://www.zvei.org>



2

Мембрана с частицами под микроскопом и под увеличением

водственного процесса – это вторая стратегия. В тех случаях, когда предъявляются особые требования к технической чистоте, можно комбинировать обе стратегии в различных вариантах.

В электронике, когда говорят о чистоте, особое внимание уделяется отмывке печатных узлов, а именно – удалению остатков флюсов с поверхности. Печатный узел в процессе отмывки последовательно проходит этапы очистки, ополаскивания и сушки, при этом удаляются не только остатки флюсов, но другие частицы и загрязнения. Правильно подобранное оборудование для отмывки позволяет эффективно удалять загрязнения и предотвращать повторные. Это обеспечивается, в том числе, постоянной фильтрацией жидкостей в процессе отмывки и ополаскивания. Помимо жидкости фильтрации должен подвергаться и воздух, используемый для сушки, чтобы предотвратить попадание пыли из окружающей среды. Фильтрация воздуха обеспечивается, как правило, с помощью фильтра HEPA (от англ. High Efficiency Particulate

Arrestance – высокоэффективное удержание частиц) (рис 4).

В рамках исследования, проведенного ZESTRON Europe, было установлено, что отмывка печатного узла в однокамерной установке струйной отмывки позволяет существенно сократить концентрацию частиц на поверхности двусторонне смонтированной печатной платы (Т 1). В этом примере два последовательно установленных фильтра с порами 10 и 5 микрон смогли задержать все металличе-

ческие частицы с размерами больше 400 микрон. Это также позволило существенно сократить концентрацию частиц классов E, F, G и H. Процесс отмывки привел к снижению индекса чистоты поверхности (SCI⁵), который является единственным численным показателем, отражающим результаты анализа на предмет присутствия частиц и их категорий.

Оптимизация процессов фильтрации и ополаскивания на этапе отмывки электроники дает возможность производителям соответствовать все более частым требованиям клиентов по отсутствию металлических частиц размером более 200 мкм. Чтобы предот-

⁵ Индекс чистоты поверхности (англ. – surface cleanliness index (SCI)) – это стандартизированная величина, рассчитываемая по формуле:

$$\frac{1000 \text{ см}^2}{\text{площадь поверхности}} \times \sum_i (\text{количество частиц } i \times \text{весовой коэффициент } i),$$

где i – категория размера частиц от E до K. Весовой коэффициент определяет значение в зависимости от категории частиц, т.к. большие по размеру частицы представляют более значимую угрозу. Весовой коэффициент = $(d_{i, \text{min}}/50)^2$ – источник: KOSTAL Kontakt Systeme GmbH



3

Две различных стратегии производственного процесса: включая этап очистки и без него

T 1

Сравнение наличия частиц до и после процесса отмывки

РАЗМЕР ЧАСТИЦ (МКМ)	ДО ОТМЫВКИ		ПОСЛЕ ОТМЫВКИ	
	ЧАСТИЦЫ (ВСЕГО)	ЧАСТИЦЫ (МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ)	ЧАСТИЦЫ (ВСЕГО)	ЧАСТИЦЫ (МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ)
N: >3000	0	0	0	0
M: 2000–3000	0	0	0	0
L: 1500–2000	0	0	0	0
K: 1000–1500	0	0	0	0
J: 600–1000	3	1	0	0
I: 400–600	18	2	0	0
H: 200–400	55	6	11	2
G: 150–200	74	9	12	3
F:100–150	259	22	50	9
E: 50–100	1389	31	200	22
SCI* - индекс чистоты поверхности	7944	812	978	167
Индекс чистоты поверхности (частиц всего) – 88 %				
Индекс чистоты поверхности (металлических частиц) – 79 %				

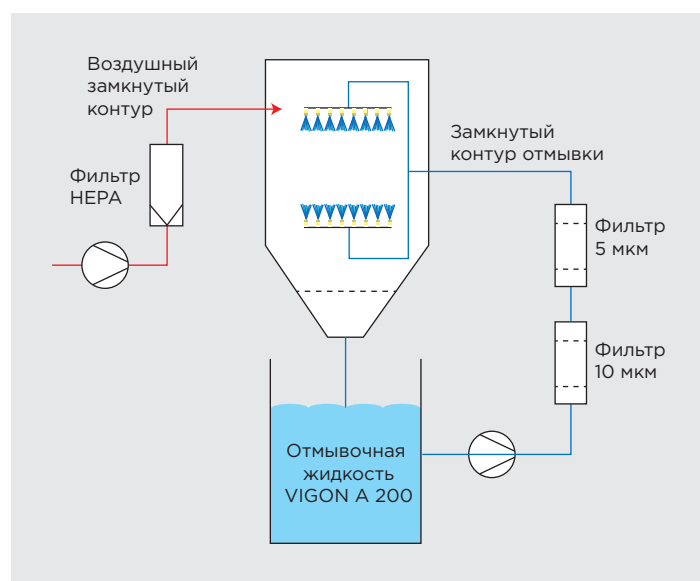
вратить повторное загрязнение, необходимо также соблюдать соответствующие условия окружающей среды и требования на последующих производственных этапах, включая упаковку конечной продукции.

Многие производители электроники все еще находятся в стадии определения предельных допустимых значений количества частиц на поверхности печатного узла. Ведь наряду с ионными загрязнениями физические частицы могут оказывать влияние на поверхностное сопротивление. Изменения в поверхностном сопротивлении, вызванные наличием частиц определенного размера, можно определить с помощью тестовой платы (рис 5). Стандарт IPC 9202 может помочь в оценке печатных узлов на предмет чистоты поверхности и оценки вероятности рисков. Чтобы провести комплексную оценку рисков, недостаточно ознакомиться со стандартом – в этом случае требуется полноценный анализ печатного узла с применением специализированного оборудования и, что немаловажно, правильная и грамотная интерпретация результатов.

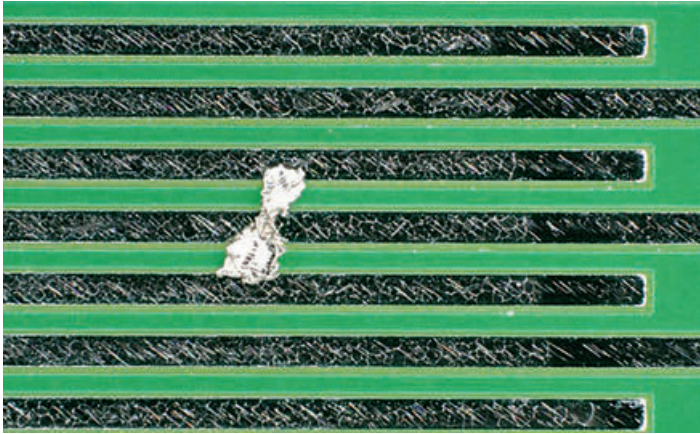
Заключение

Автомобильная промышленность дала понятию технической чистоты особую значимость. В 2014 году индустриальный комитет немецких автопроизводителей издал дополнение к директиве Центрального объ-

единения предприятий электротехнической промышленности (ZVEI) под названием «Техническая чистота для высоковольтных компонентов». В этом издании определены предельно допустимые значения размера и количества частиц. Например, максимальная величина электропроводящей частицы не должна превышать



4
Общая схема процесса отмывки



5

Структура тестовой платы для определенного размера частиц

50 % самого маленького воздушного зазора между проводниками на печатной плате. Как трактовать подобные значения, рассказывается во 2-м дополнении от 2018 года. Особенно подробно рассматриваются риски по возникновению короткого замыкания, вызванного наличием частиц.

Оценка чистоты поверхности печатного узла и возникновения потенциальных рисков – тема новая не только для российского рынка электроники, но и для других стран. В каких случаях данное исследование может быть востребовано и полезно:

- для принятия решения о необходимости отмывки электроники;
- для оценки работы электроники в долгосрочном периоде;
- для принятия мер по предотвращению рисков в процесс функционирования изделия;
- для повышения надежности производимой электроники.

Накопленные знания и опыт специалистов компании ZESTRON и современная лаборатория с передовым аналитическим оборудованием позволяют проводить расширенные исследования печатных узлов клиентов по оценке чистоты поверхности и потенциальных рисков и на основе полученных результатов формировать выводы и рекомендации.

Для проведения исследований по оценке чистоты поверхности электронных сборок направляйте заявки по электронной почте info@zestron.com.

