

КАЧЕСТВО

Ускоренные испытания на влажность: кому и для чего?



Текст: Любовь Минина



При работе с электронным оборудованием необходимо принимать во внимание особенности влияния влажности, так как она может вызывать снижение изоляционных свойств и окисление металлов. Поскольку существует множество механизмов снижения рабочих характеристик оборудования, надо выбирать и совмещать методы испытаний в соответствии с конкретной задачей.

В статье мы рассмотрим несколько подходов к испытаниям на влажность:

1. Имитация условий окружающей среды в камере повышенной температуры и влажности.
2. Проведение испытаний с повышенными значениями температуры и влажности.
3. Циклические климатические испытания и их обзор со стороны базовых значений ускоренных испытаний.

1. Имитация условий окружающей среды в камере повышенной температуры и влажности

В сервисную службу ООО «Остек-Тест» поступил вопрос о причинах образования электрохимической коррозии в монолитных керамических чип-конденсаторах с лужеными клеммами. Ситуация выглядела как показано на рис 1: «Конденсатор установлен в электронном устройстве размером с кулак. Мы поместили в климатическую камеру 20 таких устройств, установив рабочие параметры 55 °C / 85 % относительной влажности (RH), после чего запустили испытание». Инженер ООО «Остек-Тест» порекомендовал еще раз провести испытание, дополнительно используя датчик для отслеживания возникающего тока утечки, так как проблема возникает в начальной точке процесса, а не при достижении заданных значений 55 °C и 85 % RH. На следующий день пришло сообщение от заказчика: «Сигнализация датчика утечки сработала через 20 минут после старта».

Преимущество камеры повышенной температуры и влажности заключается в том, что параметры имитации окружающей среды приспособлены к быстрой регулировке, например, на 55 °C / 85 % RH или 85 °C / 85 % RH. Однако есть вероятность, что достоверность результатов окажется сомнительной, если не разобраться в особенностях и характеристиках при соответствующих условиях. Используя данные абсолютной влажности, приведенные в Т 1, специалисты



1
Электрохимическая миграция ионов в керамическом конденсаторе

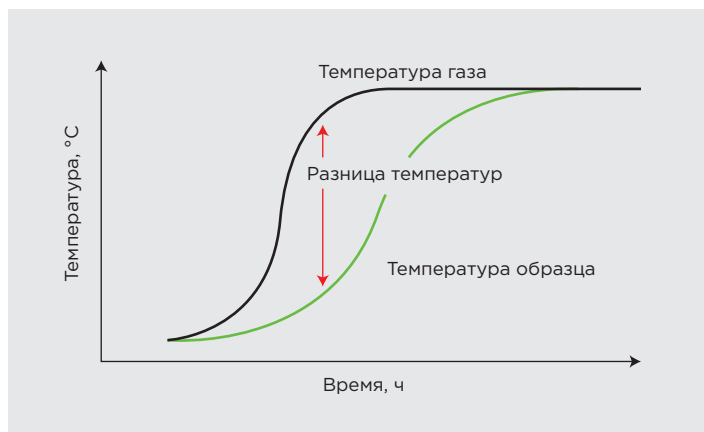
сервисной службы показали, что реальное количество влаги, рассеянной в камере повышенной температуры и влажности, значительно выше.

В начальной точке приведенного как пример испытания температура и влажность в камере резко повышаются. Поскольку образец имеет собственную энтальпию, кривая повышения температуры будет отставать, как показано на рис 2, что, в свою очередь, приведет к снижению температуры. На участках с более низкой температурой в условиях повышенной влажности образуется такой же конденсат, как и летом на бутылке, вынутой из холодильника. Значения точки росы для различных сочетаний температуры и влажности приведены в Т 2. Очевидно, что в начале отставания температуры газа от температуры образца будет тенденция к образованию конденсата, причем это отставание будет прямо пропорционально теплосодержанию образца.

Т 1

Абсолютная влажность (г/м³)

| °C \ RH | 100 | 90 | 85 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 100 | 598 | 538 | 508 | 479 | 419 | 369 | 299 | 239 | 180 |
| 90 | 424 | 381 | 360 | 339 | 296 | 251 | 212 | 169 | 127 |
| 85 | 352 | 317 | 299 | 282 | 246 | 211 | 176 | 141 | 106 |
| 80 | 293 | 264 | 249 | 235 | 205 | 176 | 147 | 117 | 87,9 |
| 70 | 198 | 178 | 168 | 158 | 139 | 119 | 99,0 | 79,2 | 59,4 |
| 60 | 130 | 117 | 110 | 104 | 91,0 | 78,0 | 65,0 | 52,0 | 39,0 |
| 50 | 83,0 | 74,7 | 70,6 | 66,4 | 58,1 | 49,8 | 41,5 | 33,2 | 24,9 |
| 40 | 51,2 | 46,1 | 43,5 | 41,0 | 35,8 | 30,7 | 25,6 | 20,5 | 15,4 |
| 30 | 30,4 | 27,4 | 25,8 | 24,3 | 21,3 | 18,2 | 15,2 | 12,2 | 9,12 |
| 25 | 23,0 | 20,7 | 19,6 | 18,4 | 16,1 | 13,8 | 11,5 | 9,20 | 6,90 |
| 20 | 17,3 | 15,6 | 14,7 | 13,8 | 12,1 | 10,4 | 8,65 | 6,92 | 5,19 |
| 10 | 9,42 | 8,46 | 8,01 | 7,52 | 6,58 | 5,65 | 4,70 | 3,76 | 2,82 |
| 0 | 4,85 | 4,37 | 4,12 | 3,88 | 3,40 | 2,91 | 2,43 | 1,94 | 1,46 |



2

Кривая повышения температуры образца относительно кривой повышения температуры/влажности

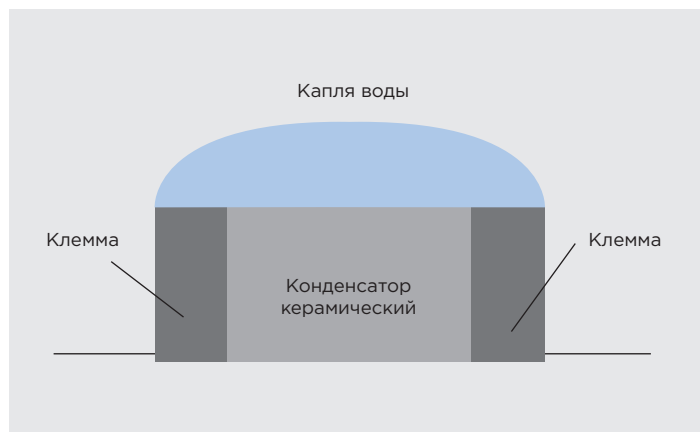
Если капельки воды покрывают верхнюю часть конденсатора чипа, как показано на рис. 3, то условие становится идентичными тому, как и при образовании конденсата для испытаний миграции, закорачивая незащищенные электроды и вызывая кратковременную электрохимическую миграцию. Поэтому при испытании проводимости при высокой температуре и влажности сначала необходимо повысить температуру окружающей среды. Атмосфера с высоким значением влажности должна создаваться только тогда, когда температура образца достигла требуемого уровня (в качестве альтернативы можно поднять температуру в камере при минимальной влажности, а после повысить уровень влаги).

Сервисный инженер объяснил, что кроме подачи напряжения непосредственно после установления

Т 2

Значение точки росы при различных значениях температуры/влажности

| °C \ RH | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 |
|---------|----|----|----|-----|-----|
| 100 | 96 | 94 | 90 | 87 | 82 |
| 90 | 87 | 93 | 81 | 77 | 73 |
| 80 | 77 | 74 | 72 | 68 | 64 |
| 70 | 67 | 64 | 62 | 59 | 55 |
| 60 | 57 | 55 | 53 | 49 | 46 |
| 50 | 47 | 45 | 43 | 40 | 37 |
| 40 | 37 | 35 | 33 | 31 | 28 |
| 30 | 28 | 25 | 24 | 21 | 18 |
| 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 9,3 |
| 10 | 8 | 6 | 5 | 2,6 | 0,1 |



3

Керамический конденсатор чипа под слоем капель росы

температурно-влажностного режима, необходимо расположить отдельные образцы таким образом, чтобы поток воздуха, предназначенный для поддержания постоянной температуры и влажности в камере, не был затруднен, а открытие и/или закрытие двери камеры во время испытаний не происходило.

Благодаря подаваемому напряжению определили, что в описанном выше случае был выбран неправильный метод испытаний. Однако в других обстоятельствах возникшее явление можно ошибочно считать следствием повышенной температуры / влажности окружающей среды.

2. Повышенная температура (85 °C) и относительная влажность воздуха (85 %).

Когда говорят об ускоренных климатических испытаниях, используют параметры 85 °C и 85 % RH. Коэффициенты ускорения времени поглощения влаги, полученные при стандартных значениях, приведены в Т 3. Некоторые специалисты предполагают, что для ускоренных испытаний влажностью эти границы применимы целиком и полностью, однако и здесь требуется аккуратность. Поэтому сначала следует разобраться с происхождением и физическим смыслом этих параметров.

В 60-е годы прошлого столетия в полупроводниковой промышленности произошел прорыв. В то время считалось, что при параметрах 85 °C / 85 % RH возникает предельное напряженное состояние в воздухе, при котором влага передается на герметизированный чип с наибольшей скоростью. Способ, которым вещество проникает в щели или отверстия корпуса, отличается в зависимости от условий окружающей среды. В воздухе применимой моделью является взвешенная суспензия, а в водяном паре или жидкости – поток вязкой жидкости. Поскольку электронные компоненты используются в воздухе,

Т 3

Коэффициент ускорения времени поглощения влаги в различных средах (для микросхем)

| ВНЕШНИЕ УСЛОВИЯ | КОЭФФИЦИЕНТ УСКОРЕНИЯ | ПРИМЕЧАНИЯ |
|-----------------|-----------------------|--|
| В помещении | 1 | Через год после ввода в эксплуатацию установить коэффициент ускорения при н. у. равным 1 |
| 65° / 95 % | 125 | |
| 85° / 85 % | 310 | |

то необходимо выбирать соответствующие условия для проведения ускоренных испытаний. Однако из-за водяного пара, который также присутствует в смеси, состояние «в воздухе» определяется как «по крайней мере 50 % воздуха» и используется иначе, чем в состоянии водяного пара. В результате максимальная температура и влажность воздуха обозначаются красной чертой, проведенной от 80 до 100 °С при относительной влажности 50 % от давления насыщенного пара в **Т 4**. При этом образование конденсата происходит вблизи значения давления насыщенного пара, а кипение – приблизительно при 100 °С. Поэтому была выбрана оптимально подобранная совокупность параметров 85 °С / 85 % RH.

В результате, параметры испытания 85 °С / 85 % RH применимы к следующим условиям:

- воздушная среда;
- повышенная скорость проникновения влаги.

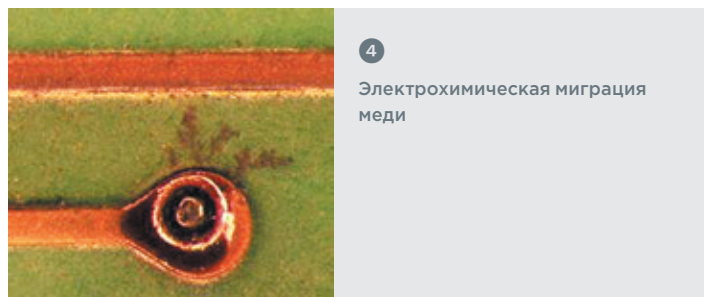
В 1970-х годах появился метод климатических испытаний при повышенных значениях давления и температуры, использующий только проникание 100 % влаги при 0 % газообразного кислорода.

Параметры 85 °С / 85 % RH для ускоренных испытаний обычно применяют при кратковременных режимах использования. Однако иногда проводят и более продолжительные тесты. Явление, которое происходит в этом случае, представляет собой имитацию неблагоприятных условий окружающей среды (**Т 4**). Другими словами, это не ускорение, которое воспроизводят сами явления (происходящие в рабочей среде), а скорее испытание при усиленном напряжении, представляющее собой проникновение такого количества влаги, которое вряд ли произойдет в реальных условиях эксплуатации за многие годы. Идея, лежащая в основе стандарта IEC 62506 «Методы ускоренных испытаний изделий», состояла в отхождении от стандартной количественной оценки при ускоренных испытаниях и получении качественных результатов, выявляя слабые места продукции. Когда явление происходит во время таких испытаний, это не всегда приводит к проблеме при реальной эксплуатации. Именно поэтому беспорядочное применение итогов испытаний может привести к отказу от пригодных для эксплуатации деталей или процессов. Тут важна корректная оценка такого рода ситуаций.

Т 4

Давление водяного пара (гПа)

| °C \ RH | 100 | 90 | 85 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 |
|---------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|
| 100 | 1014 | 913 | 862 | 811 | 710 | 609 | 507 | 406 | 304 |
| 90 | 702 | 631 | 597 | 562 | 491 | 421 | 351 | 281 | 211 |
| 85 | 579 | 521 | 492 | 463 | 405 | 347 | 290 | 232 | 174 |
| 80 | 474 | 427 | 403 | 379 | 332 | 284 | 237 | 190 | 142 |
| 70 | 312 | 281 | 265 | 250 | 218 | 187 | 156 | 125 | 94 |
| 60 | 199 | 179 | 169 | 159 | 139 | 119 | 100 | 80 | 60 |
| 50 | 123 | 111 | 105 | 98 | 86 | 74 | 62 | 49 | 37 |
| 40 | 74 | 67 | 63 | 59 | 52 | 44 | 37 | 30 | 22 |
| 30 | 42 | 38 | 36 | 34 | 29 | 25 | 21 | 17 | 13 |
| 25 | 32 | 29 | 27 | 25 | 22 | 19 | 16 | 13 | 10 |
| 20 | 23 | 21 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 9 | 7 |
| 10 | 12 | 11 | 10 | 10 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 |



4
Электрохимическая миграция меди

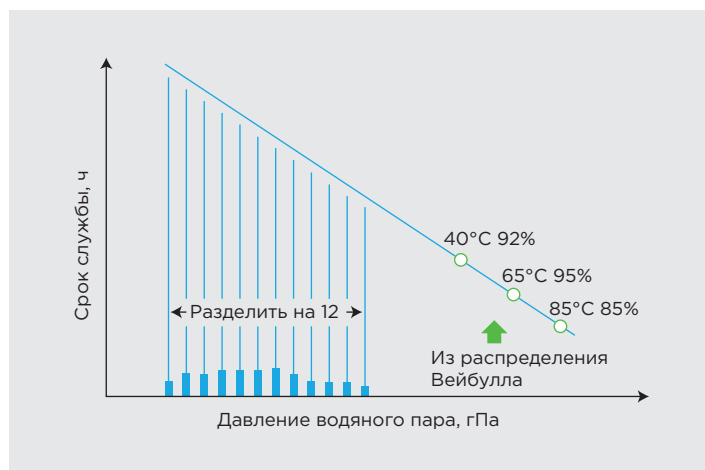
Следующий пример одного из наших заказчиков особенно показателен. На рис 4 показана электрохимическая миграция меди, произошедшая между материалом для нанесения паяльной маски и материалом основания печатной платы во время 1000 часового испытания при параметрах 85 °C / 85 % RH.

Это испытание используется не только для оценки внутренних свойств продукции, но и для ускоренной оценки поверхностно-модифицированных наружных поверхностей и износа материалов. Сам метод показан на рис 5. Постоянное давление водяного пара в течение 16 месяцев при эксплуатации в полевых условиях делится на 12 отрезков, и оценка срока службы по результатам испытаний для 40 °C / 92 % RH, 65 °C / 95 % RH и 85 °C / 85 % RH обрабатывается в соответствии с законом суммирования повреждений для получения прогнозируемого количества лет до окончания технического ресурса.

3. Испытания на термоциклирование и влагу

При оценке старения электрооборудования важно понимать, что ежедневные изменения погодных условий во время эксплуатации будут вызывать усиление влияния внешних факторов нагрузки при трех основных характеристиках:

1. Циклическое изменение суточной температуры вызывает напряжение в контактных зонах, так как электронное оборудование состоит из материалов



5

Пример применения закона суммирования усталостных повреждений к давлению водяного пара

и компонентов с различными коэффициентами линейного расширения. Это будет приводить к дефектам, например, отслаиванию и образованию щелей.

2. Циклическое изменение суточной температуры и влажности приводит к повторной конденсации и осушению, которые ускоряют коррозию из-за концентрации агрессивных ионов и снижают изоляционные свойства по причине повышенной смачиваемости поверхностей между клеммами.
3. Если в условиях высокой влажности используется резервуар с микроотверстиями, то воздух в таре расширяется и сжимается из-за разницы суточной температуры. Из-за повышенной влажности воздуха при более низких температурах появляется конденсат.


Поэтому необходимо рассмотреть оптимально подобранную комбинацию трех характеристик – изменение суточной температуры, влажности и образование конденсата – для ускорения воздействия, которое продукция получает во время использования.

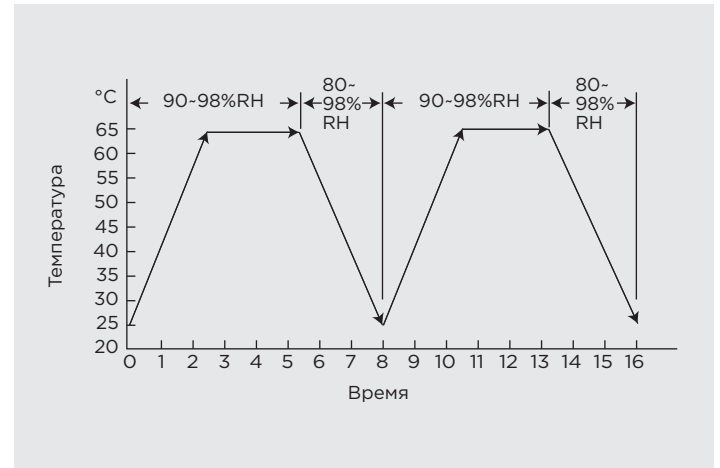
Стандартное испытание термоциклированием с применением влаги было впервые применено в США и законодательно оформлено в 1956 году как метод 106 MIL-STD-202. Это было на начальных этапах распространения электронного оборудования, и американская продукция часто приходила в негодность в Юго-Восточной Азии с ее экстремальными перепадами температур.

Реальные условия эксплуатации представляют собой цикл низких температур при высокой влажности и высоких температур при низкой влажности. Однако, как показано на рис 6, в температурном цикле максимальная температура может быть доведена до 65 °C при сохранении влажности для усиления перечисленных характеристик. Медленное повышение температуры в течение 2,5 часов показало, что из-за точки росы не наблюдается образование значительной конденсации, но остается так называемая капиллярная или химическая конденсация используемого материала, что позволяет оценить ухудшение, вызванное этими факторами. Кроме того, через раз предусмотрен подцикл, который включает выдержку при температуре -10 °C в течение 3 часов для испытаний на расширение зазоров и подтверждение прочности вибрацией, для оценки влагостойкости, отличной от износа электрохимической изоляцией и коррозии. Это отдельно от метода 103 стационарных испытаний того же MIL-STD-202, который проверяет влагостойкость при 40 °C и постоянной влажности 90-95 % RH. Такое испытание состоит из 10 циклов, и его можно рассматривать как минимальное требование к долговечности изделий, предназначенных для наружного использования.

Испытание термоциклированием с влагой также называется испытанием цикла росы, поскольку быстрое изменение температуры может привести к конденсации точки росы, как описано в первом разделе статьи. Это

соответствует стандартной среде использования портативных устройств, которые летом переносятся из кондиционированного помещения на улицу в жару, а зимой из холодной среды в отапливаемое помещение. Если эта смена локации и условий происходит часто, то даже небольшое количество конденсата изменяет поверхностные свойства и приводит к ухудшению изоляции. Поэтому метод испытаний применяется в основном для оценки устойчивости к циклическому воздействию росы.

Если низкотемпературный предел испытаний цикла конденсации росы установлен на минус стоградусные значения, то оно становится испытанием цикла замораживания. Это применимо для оценки устойчивости к перегрузкам и расширению микротрещин, вызванных примерзанием наружного оборудования или оснащения в припаркованных транспортных средствах зимой. 



6

Температурный цикл

В статье было представлено краткое описание характеристик и ограничений для ускоренных испытаний влажностью. Испытание высокой температурой и влажностью эффективно для оценки смачиваемости деталей микросхем и материалов, однако возможное ухудшение качества со временем оптимально оценивать способом термоциклирования с влагой. Ускоренное испытание на влажность не проводится с помощью элементарного повышения влажности. Необходимо комплексно рассмотреть условия испытаний и найти эффективное сочетание методов, в том числе с использованием температурных напряжений и других механизмов деградации.