

# «Усы» олова

**Семнадцатого апреля 2005 года атомная станция «Миллстоун» в штате Коннектикут прекратила работу по причине короткого замыкания в линии нагнетания пара. В 2006 году огромная партия часов «Свотч», изготовленных давней им имя швейцарской фирмой, была изъята из продажи при расчетной стоимости в \$1 млрд (500 млн фунтов). В обоих случаях «усы» олова — микроскопические проростки металла из мест пайки на печатной плате — были объявлены причиной возникновения этих проблем.**

**Курт Якобсен  
(Kurt Jacobsen)**

Не в первый раз эти таинственные проростки были виноваты в отказах электроники.

В 1998 году спутник связи «Галактика IV» заглох всего лишь через пять лет, и инженеры диагностировали, что его отказ обусловлен «усами».

Американские военные обвиняли эти «усы» в нарушениях работы систем РЛС «F-15» и в сбое траекторий наведения ракет типа «Феникс» и «Патриот».

В 1986 году Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США изъяло целый ряд продуктов лидирующих изготовителей по причине тех же самых «усов».

На самом деле они были известны уже с 1940-х гг. и наблюдались также в случаях с кадмием и цинком: во время второй мировой войны аналогичные «усы» приводили к короткому замыканию настроечных кадмиевых конденсаторов, применяемых в авиационных радиостанциях. Десятью годами позже было установлено, что реле на основе олова в телефонных коммутаторах фирмы AT&T являются причиной коротких замыканий.

## Продвижение олова

Как решить проблему образования «усов»?

Вводить свинец в припой, как это делалось начиная с 1950-х гг. Колин Хьюз, физик, работавший над созданием первой британской атомной бомбы, сказал, что за время его работы проблема образования «усов» никогда не поднималась. Но теперь свинец ушел на законных основаниях, и «усы» вновь стали появляться, создавая потенциальные проблемы для всех нас.

Согласно «Директиве RoHS о снижении уровня содержания опасных веществ» 2003 года, в странах ЕС

было запрещено использовать свинец в составе припоя, начиная с 2006 года, что давало изготовителям три года на отказ от применения свинца.

Логика такого решения казалась разумной. Исключение свинца из состава бензина, где он использовался для предупреждения нарушений циклов работы двигателя внутреннего сгорания, принесло явные преимущества с точки зрения экологии и здравоохранения: из атмосферы не стало выбрасываться вредное химическое вещество, которое могло влиять на интеллектуальные способности человека. Удаление свинца из припоя, а сплав из 37% свинца и 63% олова применялся для соединения металлических деталей повсюду — от паяльных работ до схемных плат, — было следующим очевидным шагом, препятствующим его вымыванию в грунтовые воды из объектов на мусорных свалках.

Между тем США и Япония тоже двигались по направлению к припою, не содержащим свинец. Это значительный сдвиг: по оценке Агентства по защите окружающей среды США в 2002 году во всем мире использовалось 80 млн кг свинцового припоя. Экологические организации одобряли такое решение ведущих стран. «В США мы проживем без содержащих свинец припоев в течение многих лет, — считает Рик Хайнд, директор по законодательным вопросам кампании «Гринпис» по токсичности отходов. — От меньшего воздействия свинца мы все получим пользу, став умнее и изготавливая более безопасные и надежные изделия». (В США использование припоя без свинца не сделано обязательным, но государство предлагает за это налоговые льготы.)

Но олово без укрощающего его свинца ведет себя непредсказуемо. Оловянное покрытие без добавок, как и кадмий и цинк, спонтанно образует кристаллы металла диаметром около 1–5 мкм и менее одной десятой толщины человеческого волоса, которые проталкиваются от основания вверх. Если они растут достаточно близко для того, чтобы прикоснуться к другому токопроводящему объекту, то вызовут короткое замыкание, которое может повредить аппаратуру.

Причина становится яснее. «Я полагаю, что механизм образования «усов» теперь стал понятным — это происходит за счет напряжения сжатия, обусловленного, скажем, диффузией меди в олово. При встраивании в слой олова медь пробивается через барьерный слой оксида олова», — утверждает Стив Джонс из компании «Сиркатекс» в Саут Шилдс, Англия.



Критики ссылаются на сообщения о том, что компоненты припоя, такие как олово, олово-цинк, олово-серебро-медь, просто не способны заменить свинец в припое по надежности, укрывистости (смачиваемости контактных площадок) и стоимости. Поэтому военная, военно-морская, медицинская и исследовательская аппаратура освобождены от того, что считается не заслуживающим доверия.

«Я все еще использую олово-свинец — он работает лучше», — заявляет Джон Кеттерсон, физик в области твердого тела, работающий в университете Нортвестерн в штате Иллинойс. Он отмечает возможности компромиссов «по стоимости, материалам, прочности припоя и пр.» во время предписанного перехода, а также то, что изготовители должны приобрести «базовый опыт» использования новых технологий.

### Двойные стандарты

Это означает, что незнающий потребитель несет тяжесть экспериментальных расходов. «Так, НАСА не желает понести экономический ущерб, связанный с возможной утратой космического телескопа «Хаббл». Но при выходе из строя из-за образования «усов» всего лишь одного из тысячи персональных компьютеров никто не сможет этому воспрепятствовать», — говорит Кеттерсон.

Один из тысячи компьютеров, возможно, является слишком заниженной оценкой.

Помимо образования «усов», не содержащий свинца припой к тому же более хрупок. Припой-заменители также могут быть нанесены слишком тонким слоем, при недостаточной или при слишком высокой температуре (заменители свинца имеют более высокие точки плавления), что создает механические напряжения в слоистой структуре печатной платы.

Вопрос состоит в том, воздействуют ли «усы» олова на изделия, применяемые в настоящее время? Могло бы это стать причиной выхода из строя вашего компьютера? Конечно, некоторые специалисты по вычислительной технике знают об этом: представители фирм Sun

Microsystems и IBM были участниками семинара по оловянным «усам» в 2006 году.

Применение матового финишного покрытия, устранение загрязнителей из припоя и с поверхностей, снижение механических напряжений в паяемых компонентах — все это ослабляет рост «усов». Однако Билл Уиллис, оппонент директивы ЕС и технический директор группы SMART (Surface Mount and Related Technology — поверхностный монтаж и связанная с ним техника) в Великобритании заявил, что «никакое определенное решение этой проблемы» не найдено до сих пор.

Свыше 80% от всех радиоэлектронных компонентов производится в Азии, но технические требования к ним разрабатываются в фирмах — обладателях торговой марки продукции. Автор обзвонил восемь изготовителей с вопросом, сталкиваются ли они с проблемами образования «усов» и т. п. Только один человек из лиц, ответственных за техническое обеспечение, ничего не знал об этом.

Компания Apple была единственной, чей представитель ответил, что здесь «с 2004 года без проблем используют припой, не содержащий свинец». Видимо, производители не имеют еще достаточной базы или, может быть, отказ техники из-за наличия «усов» не регистрируется в качестве проблемы. Многие потребители, вероятно, отнесут дефектные устройства на счет своего собственного невезения, когда в реальности причиной могут быть микроскопические «усики» внутри их машин.

### Усвоенные уроки

В общем и целом, было ли разумно отказываться от свинца? «Я бы сказал нет», — говорит Уиллис. Более ранний моральный износ влечет за собой и больше отбракованных изделий. Критики утверждают, что заменители свинца более токсичны и энергоемки, чем свинец, и что свинец не выщелачивается из схемных плат, так как он не мигрирует подобно свинцу, содержащемуся в краске или бензине.

Национальный Центр по изготовлению высококачественной электроники, финансируе-

мый ВМФ США, установил, что термостабилизация паяных соединений и их хранение позволяет уменьшать образование «усов», но все же его специалисты рекомендуют «применение свинца вопреки будущей производственной практике».

И компания «Свотч» после своих дорогостоящих возвратов выиграла постоянное освобождение от необходимости соблюдать директиву RoHS для изделий, идущих на экспорт в страны ЕС.

Вероятно, скоро появятся надежные технологии, свободные от свинца, хотя специалисты в этом сомневаются. Говорят, что такие компании, как IBM и National Instruments, сейчас уже имеют технологии, соответствующие требованиям RoHS даже для освобожденных от них изделий. Но эта дискуссия специалистов выглядит так, как будто бы она остается открытой. До сих пор последним надежным источником информации по этой проблеме являются изготовители.

### «Усы» олова: появляются ли они на ПП непосредственно у вас?

Они могут расти при температуре и влажности окружающей среды или в вакууме, а также при постоянных или изменяющихся температурах (хотя варьирование температуры может способствовать их росту).

Кончики «усов» соразмерны атому. За достаточное время они протолкнутся через любое покрытие. Они являются преобладающей причиной (лишь недавно обнаруженной) многих отказов аппаратуры в прошлом. Один «усик» может пропускать около 30 мА — что более чем достаточно для повреждения цифровых схем.

Припой серебро-олово-медь (SAC) замедляет, но не прекращает рост «усов». Но припой SAC оказывает на окружающую среду большее влияние, чем вариант олово-свинец. Известный припой — 37% свинца, 63% олова — только деформируется, что снижает механические напряжения, а значит, сводит к минимуму образование «усов».