

Конденсаторы для современной электроники

Визит на Витебский завод радиодеталей «Монолит»

В. Мейлицев

Отправляясь осматривать конденсаторное производство завода «Монолит», прежде всего мы хотели узнать, как он делается, многослойный керамический конденсатор с 25-летним гарантийным сроком службы в любых условиях эксплуатации. А еще – за счет каких мер предприятие, созданное более полувека назад, сохраняет способность производить компоненты современного уровня – при том, что этот уровень постоянно растет? Как это получается, что выпуску высокотехнологичной продукции не препятствует соседство самых современных машин с оборудованием, установленным еще во времена СССР?

Мы познакомились с производством, переходя с одного участка на другой в соответствии с последовательностью этапов технологического процесса. Нас вели и отвечали на наши вопросы главный технолог завода Татьяна Михайловна Гужкова и начальник конденсаторного производства Ольга Николаевна Бродская.

Татьяна Михайловна, человеку, далекому от электротехники и электроники, керамический конденсатор представляется совсем простым изделием. Но на самом деле процесс его изготовления включает множество операций. С чего он начинается?

Т. Гужкова. Керамический конденсатор – это многослойный пакет, в котором чередуются слои диэлектрика и проводящие обкладки. Для диэлектрика используется чистая керамика, для обкладок – металлизированная. Емкость конденсатора возрастает с уменьшением

толщины диэлектрика и ростом числа слоев в конструкции. Этим, в основном, и определяется направление наших усилий по совершенствованию продукции завода: надо учиться производить всё более тонкую керамическую пленку и получать сборки из всё большего числа слоев.

Процесс изготовления конденсаторов начинается с получения керамического порошка на

основе титаната бария. Различные по емкости, по условиям применения конденсаторы отличаются составом керамического диэлектрика, поэтому к титанату бария в соответствии с рецептурой добавляются легирующие добавки: оксид ниодима, оксид стронция и др. Все компоненты смешиваются, спекаются, а затем измельчаются до получения керамического порошка с определенным размером частиц. Керамический порошок, связующее вещество и растворители загружаются в агрегат, называемый мельницей мокрого помола, который дополнительно измельчает материалы до получения частиц необходимого размера и смешивает их в однородную сметанообразную массу – шликер, из которого затем изготавливается керамическая пленка.

В добавление к вибромельницам, уже давно используемым на заводе, в рамках модернизации в 2016 году была приобретена бисерная мельница LME-20 производства немецкой компании NETZSCH. Бисерной она называется потому, что помол осуществляется с помощью мелких металлических шариков. Этот агрегат дал нам новые возможности, и мы попробовали сами изготовить титанат бария. Традиционно мы покупаем этот материал в Японии, а если делать его самостоятельно, то исходные материалы: диоксид титана, углекислый барий – можно приобретать у российских производителей. Мы провели опытные работы, испытали изделия из керамики собственного производства, получили устойчивый положительный результат и запатентовали эту технологию. Наша керамика дешевле японской; еще один плюс – предотвращение возможных



Татьяна Гужкова



Горизонтальная бисерная мельница компании NETZSCH для помола керамических материалов

проблем с поставками титаната бария от иностранных производителей.

На каком оборудовании вы сегодня изготавливаете керамическую пленку?

Т. Гужкова. Последнее наше приобретение – установка отливки керамической пленки SAM-C25 производства словенской компании KEKO Equipment. Шликер заливается в приемную емкость, из которой под давлением подается в фильеру, откуда выдавливается на носитель – движущуюся майларовую ленту. Таким образом формируется непрерывная лента из «сырой» керамики. Она проходит через зону сушки и на выходе установки наматывается на бобину вместе с майларом.

Настройка фильеры на нужную толщину пленки производится при помощи сенсорного монитора управляющего компьютера, этот же компьютер осуществляет

постоянный текущий контроль заданной толщины. Ширину пленки также можно регулировать, но мы всегда работаем с максимальной шириной, поскольку ее уменьшение на практике не дает ничего, кроме увеличения расхода дорогостоящего материала. Кроме того, на эту ширину рассчитано оборудование, которое будет работать с пленкой на следующих этапах процесса.

Помимо постоянного автоматического отслеживания, толщина пленки периодически проверяется оператором, при необходимости производится поднастройка фильеры; однако, как правило, этого не требуется. Раз в квартал осуществляется метрологический контроль как датчиков, так и фильеры – на ней не должно быть механических повреждений, перекосов и т. д. Для очистки майларового носителя на линии установлено специальное приспособление. Два раза в смену замеряется запыленность атмосферы, постоянно ведется контроль температуры и влажности.

Какова минимальная толщина пленки, изготавливаемой на этой установке?

Т. Гужкова. Прежде, до модернизации, мы могли делать пленку толщиной 23,5 мкм. На машине SAM-C25 мы уже научились уверенно производить пленку толщиной 15 мкм и активно работаем над тем, чтобы довести ее до 10 мкм.

Кроме SAM-C25, у нас еще две литьевых установки KEKO модели SAM-22. Они отличаются от SAM-C25, главным образом, типом ленты-носителя: у SAM-22 она металлическая. От такого носителя керамика отделяется труднее, чем от майлара. Соответственно, пленка должна иметь повышенную механическую прочность, для чего в ее состав добавляется больше органических связок. Керамика получается менее плотной, так что эту машину мы используем в цепочке изготовления более крупных конденсаторов, а для малоразмерных делаем пленку на SAM-C25 – она позволяет получить сборку с максимальным числом слоев.

у мы используем в цепочке изготовления более крупных конденсаторов, а для малоразмерных делаем пленку на SAM-C25 – она позволяет получить сборку с максимальным числом слоев.

Керамические конденсаторы обычно невелики по размерам. Очевидно, в технологическом процессе используются групповые заготовки?

Т. Гужкова. Минимальный размер выпускаемых сегодня заводом чип-конденсаторов – 1,0×0,5 мм (0402), да и остальные типы имеют небольшие габариты. Поэтому на этом этапе производства высушенная керамическая лента разрезается



Установка отливки керамической пленки KEKO SAM-C25: а – общий вид; б – зона формирования пленки в передней части машины. Можно видеть емкость для шликера, систему перематки майларовой ленты, два электронных микрометра, контролирующих толщину пленки, с подсоединенными кабелями передачи данных в управляющий компьютер



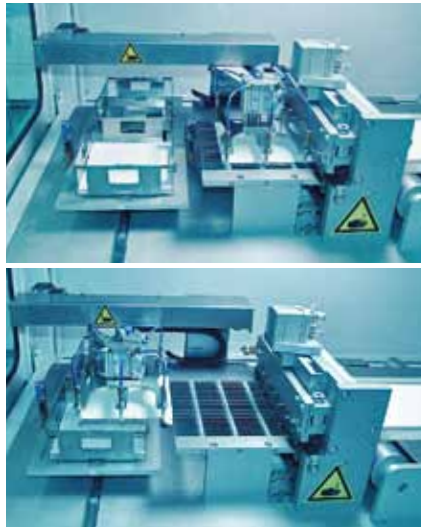
КЕКО САМ-22 с металлической лентой-носителем

на сравнительно крупные пластины, каждая из которых представляет собой групповую заготовку одного слоя пакета конденсатора. Эту операцию мы производим на установке резки керамической пленки КЕКО SC-25MNC.

На те пластины, из которых будут изготовлены электроды – обкладки конденсаторов, проводящей пастой наносится «рисунок» в виде матрицы прямоугольников. Заготовки имеют стандартную величину, так что количество размещаемых на них электродов зависит от размеров конденсаторов, которые будут изготовлены из этих пластин. Эта операция проводится в отдельной машине, которая не только наносит пасту, но и высушивает ее перед передачей на следующую операцию.

Теперь можно собирать пакет?

Т. Гужкова. Да, следующий этап – сборка пластин в многослойный групповой пакет. Для этого тоже имеется отдельная установка – автоматический укладчик. Структура пакета – порядок следования металлизированных и «чистых» пластин, их количество – рассчитывается технологом в зависимости от емкости изготавливаемых конденсаторов и их рабочего напряжения; по этим данным



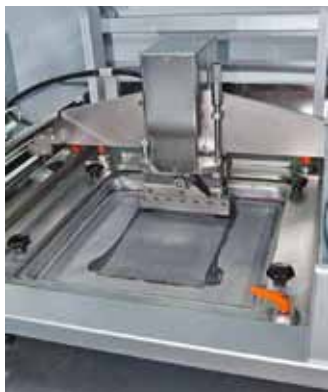
Резка пленки на установке SC-25MNC; а – пластина отрезается от ленты, транспортная каретка готова ее захватить; б – каретка укладывает пластину в приемный бункер

компьютер управляет процессом сборки. Совмещение слоев обеспечивается системой технического зрения, ориентирующейся по реперным меткам на пластинах.

Отдельные машины для операций металлизации и сборки пакета, которые мы вам показали, приобретены недавно. До этого применялось другое оборудование, в котором эти операции объединены – две полуавтоматические линии производства РАЛ югославской компании Iskra, установленные в конце 1980-х годов. Они продолжают работать и сейчас.

О. Бродская. Каждая из этих технологий – отдельная и совмещенная – имеет свои плюсы и минусы. Основной недостаток линий РАЛ – сравнительно большое участие оператора: он укладывает пластины, считает их... А для качества пленки и пасты может иметь значение не только контакт с руками человека, но даже воздействие его дыхания.

Но есть у них и преимущество. Установка металлизации КЕКО 3200ААМ использует трафарет стандартного



Металлизация: а – система трафаретной печати КЕКО 3200ААМ, внешний вид; б – ракель и трафарет в зоне нанесения металлизационной пасты

Укладчик керамических пластин КЕКО серии ST: а – общий вид; б – зона сборки пакета



Линии PAL: а – общий вид; б – цикл работы линии включает ряд ручных операций

размера, на котором можно разместить до тысячи металлизированных участков – электродов. Но у нас бывают и совсем маленькие заказы, вплоть до 10 шт. Сделать трафарет под мультизаготовку из разных типов конденсаторов не получается, а площадь пластины надо заполнять целиком, чтобы дорогостоящий материал не уходил в отходы. В результате большая часть изготовленной партии идет в складские запасы, замораживая вложенные средства. Линия PAL может работать с трафаретами меньшего размера – и на 100, и на 50 конденсаторов, позволяя изготавливать малые партии и тем самым улучшать экономические показатели производства.

Как происходит разделение пакета?

Т. Гужкова. Перед разрезкой пакет подвергается ламинированию в изостатическом прессе КЕКО серии ILS. Теперь, когда слои пакета прочно скреплены, его можно разрезать на отдельные полуфабрикаты конденсаторов. Эта операция производится также на машине КЕКО – установке резки «сырой» керамики серии SM.

Полуфабрикаты уже похожи на чип-конденсаторы, не хватает только выводной металлизации...

Т. Гужкова. Не только: ведь керамика, из которой они сделаны, еще «сырая». Заготовки необходимо обжечь.

Оборудование для обжига представляет собой две керамические пластины: на нижнюю выкладываются полуфабрикаты, верхняя устанавливается на нижнюю с использованием небольших вставок, не позволяющих ей

давить своим весом на изделия. Группа таких оснасток собирается на поддон, который загружается в печь.

О. Бродская. Цикл обжига длится более двух суток – температурный профиль для качественного спекания керамики не допускает быстрого нагрева и требует остывания в естественном темпе. Раньше мы использовали туннельные печи, но



Ольга Бродская



Разделение заготовки: а – установка резки керамики КЕКО, серия SM; б – конденсаторы размера 1,0x0,5 мм (0402) после разделения групповой заготовки



Рабочая зона установки TOPAS-600. Справа внизу можно видеть вибробункер с проверяемыми полуфабрикатами

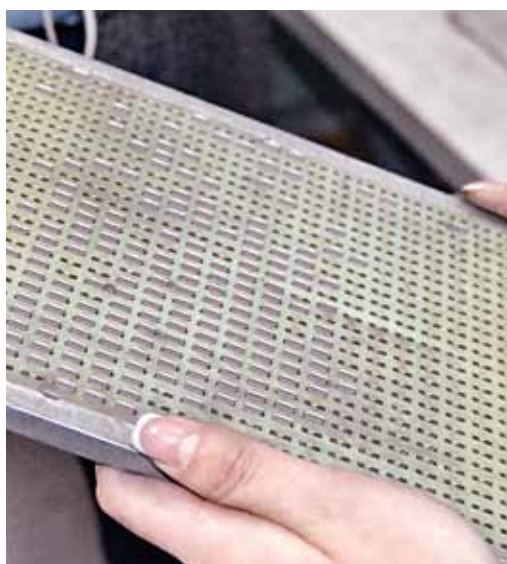


они плохо соответствуют современным требованиям, как с точки зрения выдерживания заданных режимов, так и по причине недостаточной экономичности. Теперь мы перешли на камерные печи серии N200 производства немецкой компании Nabertherm GmbH.

После обжига полуфабрикаты должны быть проверены – отсортированы по внешнему виду на годные и негодные. Эта операция производится на установках визуального контроля TOPAS-600 производства тайваньской компании Ai Ti Fu. Машине задают параметры внешнего вида, указывают категории дефектов, по которым должна быть произведена сортировка, загружают входной бункер, и дальше она работает автоматически. Сообщения о выявленных дефектах, которые формирует инспекция, проверяются оператором, поскольку даже при

Обжиг: а – укладка изделий на оснастку; б – участок обжига керамики

самой лучшей настройке такие установки иногда дают ложные срабатывания.



Серебрение: а – общий вид установки Naiku Tech LGTM-4000C; б – кассета с конденсаторами после серебрения

Как вы делаете контактные электроды конденсаторов?

О. Бродская. В нашей номенклатуре есть и чип-конденсаторы, в наименовании компонента они обозначаются буквой «в», и корпусированные конденсаторы с радиальными выводами в двух вариантах, обозначаемых буквами «а» и «б». Но последовательность операций до определенного момента единая для всех типов; фактически, чип-конденсатор является заготовкой для конденсатора выводного.

Более того, когда в 1984 году на заводе была поставлена новая технология, ориентированная в первую очередь на конденсаторы поверхностного монтажа, мы начинали с того, что изменили конструкцию изделий таким образом, чтобы ее основой



Установка серебрения производства компании Iskra

стал чип-конденсатор. Сначала делали заготовки в размерах, заданных прежней конструкторской документацией, а потом начали вводить в номенклатуру чип-конденсаторы европейских типоразмеров, переходя ко всё более маленьким по мере развития тенденции миниатюризации аппаратуры.

Формированием электродов завершается та часть последовательности изготовления конденсаторов, которая одинакова для любого их типа. Конечно, вся продукция проходит этапы маркировки, контроля и упаковки, но эти операции производятся с уже готовыми, функционально законченными изделиями.

Т. Гужкова. Роль электродов состоит не только в том, чтобы обеспечить пайку конденсатора на контактные площадки печатной платы. Они также коммутируют металлизированные слои пакета, выходящие к его торцам, после чего пакет и становится многослойным керамическим конденсатором заданной емкости.

Этап формирования электродов мы называем серебрением, поскольку их материалом служит серебросодержащая паста. Для серебрения конденсаторы размещаются в несущей кассете, имеющей эластичные сквозные гнезда, удерживающие конденсаторы в необходимом положении. В такую кассету помещается, в зависимости от типоразмера, до трех тысяч конденсаторов.

Процесс заполнения кассеты автоматизирован. Он выполняется на загрузочном устройстве, представляющем собой комбинацию вибростол с вакуумным насосом.

Для загрузки изделий несущая кассета состыковывается со вспомогательным приспособлением – так называемой заборной кассетой, выполняющей функцию кондуктора. Заборная кассета изготавливается из металла, сквозные отверстия в ней рассчитаны таким образом, чтобы конденсаторы получали нужную ориентацию, но могли двигаться. Заборная кассета состыковывается с несущей, и они вместе устанавливаются на загрузочное устройство.



Печь ПЭК-8

Конденсаторы помещаются на поверхность заборной кассеты. За счет вибрации и всасывающего эффекта они попадают в ее отверстия, откуда затем выдавливаются прессом в гнезда несущей кассеты, причем их торцы выступают на расстояние, соответствующее размеру будущего электрода. Заборная кассета отсоединяется, и несущая помещается в установку серебрения.

Собственно серебрение производится путем погружения выступающих из кассеты торцов изделий в серебросодержащую пасту с последующим удалением ее излишков. Несущая кассета с конденсаторами, металлизированными с одной стороны, извлекается и просушивается. Затем пресс передвигает конденсаторы в гнездах несущей кассеты, освобождая другой торец, и цикл повторяется.

О. Бродская. Установка нанесения пасты, которую вы сейчас рассмотрели, появилась у нас недавно, в 2014 году. До этого мы пользовались машиной, произведенной компанией Iskra в начале 1990-х годов. Ее основной недостаток – большая площадь ванны с пастой, к тому же ничем не закрытая. Паста быстро испаряется, теряя свои реологические свойства. Ее надо чаще менять, а это – непроизводительный расход драгметаллов, потери времени на пополнение ванны. Однако мы продолжаем пользоваться этой установкой – преимущественно серебрим на ней конденсаторы больших размеров.

Что происходит при вжигании пасты?

Т. Гужкова. При высокой температуре органика, содержащаяся в пасте, выгорает, стекло расплавляется, и оставшийся материал с высоким содержанием серебра срачивается с керамикой и сплавляется с металлизацией внутренних слоев. Эта операция проводится в печи ПЭК-8, работающей у нас с 1980-х годов. Это очень хорошая машина, изготовлена на Санкт-Петербургском «Авангарде». Восемь зон, которыми располагает ПЭК-8, и регулируемая скорость движения конвейера позволяют построить любой требуемый температурный профиль.



Автоматы электрических проверок фирмы Naiku Tech: а, б – тестирование испытательным напряжением и измерение сопротивления изоляции; в, г – измерение емкости и тангенса угла диэлектрических потерь

О. Бродская. Завершая разговор о контактных электродах, надо упомянуть, что конденсаторы варианта «в» – те, которые предназначены для поверхностного монтажа, – производятся у нас с тремя вариантами покрытия под пайку: горячее лужение, олово с подслоем никеля и просто серебро/палладий в том виде, в каком они входят с этого участка.

Конденсаторы изготовлены – теперь их надо проверить...

Т. Гужкова. Сразу на электрические проверки отправляются чип-конденсаторы, а на изделия вариантов «а» и «б» сначала наносится маркировка. На участке маркировки работает лазерная установка, поставленная «Авангардом» еще в советские времена.

При ваших миллионных объемах выпуска – вы проверяете изделия выборочно, или контроль сплошной?

Т. Гужкова. Электрическим проверкам подвергается 100% выпускаемой продукции. Самые новые установки

на этом участке – автоматические системы голландской компании Naiku Tech. Одна из них проводит тестирование испытательным напряжением и измеряет сопротивление изоляции, вторая измеряет емкость и тангенс угла диэлектрических потерь. Быстродействие очень высокое: надо лишь загрузить бункер, установить режим, и дальше машина работает с почти пулеметной скоростью, проверяя параллельно по восемь конденсаторов за один цикл.

Еще один автомат для измерения емкости и тангенса угла потерь – ЭМ-4098 производства минского ОАО «Планар». В эту машину проверяемые конденсаторы подаются в кассетах, подобных тем, которые вы видели на участке серебрения. ЭМ-4098 имеет 20 щупов и, соответственно, проверяет 20 изделий одновременно. Интересна примененная в нем система разгрузки кассеты: годные элементы «выдуваются» из ее гнезд воздушной струей в один бункер, негодные – в другой. Возможности этого тестера даже шире, чем голландской машины: он может производить сортировку конденсаторов по заданному диапазону емкостей.



Автоматический тестер ЭМ-4098



Установки для тестирования выводных конденсаторов



Участок упаковки: а – настольный упаковщик ТМ-50; б – SATM-6330

Тестер «Планара» значительно старше, чем машины Naiku Tech, но мы сохраняем в строю и еще более «возрастные» установки. Например, у нас есть несколько машин, работающих тоже автоматически, из бункера, но проверяющих по одному конденсатору в цикле. Они медленнее, чем тестеры с групповой проверкой, но превосходят по производительности ручной труд рабочего средней квалификации.

Все то, что мы до сих пор видели – это средства контроля конденсаторов поверхностного монтажа. Видимо, тестирование выводных конденсаторов производится на других установках?

О. Бродская. Мы производим выводные конденсаторы в пластмассовых корпусах и с герметизацией компаундом. Проверять их приходится на машинах, оставшихся с давних времен. Работают они исправно, а если что-то случается, то быстро ремонтируются – у нас очень квалифицированные мастера по обслуживанию техники. Проверка в них автоматизирована, но не в той степени, в какой хотелось бы; например, загрузка конденсаторов производится вручную, по одному. Приходится мириться: мы искали, чем можно заменить эти установки, но найти подходящего решения не удалось.

Требование к надежности вашей продукции очень велики – две рекламации на миллион отгруженных изделий. Как удается достичь такого показателя?

О. Бродская. Для того чтобы гарантировать качество и работоспособность нашей продукции в течение всего 25-летнего срока ее службы и во всех условиях эксплуатации, мы проводим так называемые урезки: завышаем параметры тестирования по сравнению с их значениями, записанными в Технических условиях. Например, если установлена величина сопротивления изоляции, равная $3 \cdot 10^5$ Ом, мы устанавливаем на автоматах $3 \cdot 10^6$. Это уменьшает выход годных, но иначе нам не достичь требуемого уровня отказов у потребителя.

При освоении нового типа изделий с ними проводится весь комплекс испытаний на функционирование и сохранение работоспособности при и после воздействия неблагоприятных факторов внешней среды: температуры, влажности, ударов и вибраций, соляного тумана, плесневых грибов, ионизирующих излучений и т.д. – всё, что положено. Для этого у нас есть собственная аккредитованная лаборатория.

Осталось посмотреть, как вы упаковываете свою продукцию.

Т. Гужкова. Упаковка должна соответствовать требованиям, предъявляемым потребителем. У нас сохранилась ручная упаковка – девушки считают изделия и раскладывают по коробочкам. Но есть и современная упаковка – в ленту для автоматических установщиков поверхностного монтажа. Причем тоже нескольких типов и поколений: от небольшого настольного аппарата ТМ-50 американской компании V-TEK до солидной тайваньской машины серии SATM-6330.

Последний вопрос. Очень часто в процессе модернизации предприятия сразу меняют техническое оснащение целого участка, а то и цеха. У вас же можно увидеть соседство самых современных машин и оборудования из 1990-х, даже 1980-х годов. Почему так?

О. Бродская. В советское время технический парк предприятия находился на вполне современном уровне, и значительная часть того оборудования сохранила работоспособность. У нас не было необходимости менять всё и сразу; достаточно было принимать меры для ликвидации «узких мест», будь то недостаток производительности или невозможность получить от установки нужный результат из-за возросших требований к параметрам ее выходного продукта.

Наши специалисты обладают достаточными профессиональными знаниями, хорошо ориентируются на рынке технологического оборудования. Они вполне способны вовремя увидеть слабое звено и разобраться, что надо предпринять, чтобы эта слабость не переросла в настоящую проблему.

Результат налицо: наша технологическая база позволяет спокойно выполнять текущую программу, без чрезмерного напряжения увеличить объемы выпуска в тех пределах, которых можно ожидать, а еще – проводить поисковые работы по совершенствованию характеристик нашей продукции, внедрению новых образцов.

Спасибо за интересный рассказ.