

05 (26) август 2016

ВЕКТОР

ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
Научно-практический журнал

КАЧЕСТВО
Павел Косушкин

38 ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА.
КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ

ТЕХПОДДЕРЖКА
Роман Кондратюк

48 ДЕФОРМАЦИЯ LTCC-ИЗДЕЛИЙ
В ПРОЦЕССЕ ОБЖИГА

КАРЬЕРА

8 ОСТЕК — КОМПАНИЯ
ДЛЯ УМНЫХ
И ТАЛАНТЛИВЫХ ЛЮДЕЙ



15 ЛЕТ
РАБОТАЕМ
С УМОМ

Аддитивные технологии. Чем удивить искушенного промышленника?

Сегодня мало владеть новейшими технологиями. Необходимо знать, как применять их на практике.

В программе доклады на темы:

Трехмерная печать металлами: технологии, особенности, применения.

Технологии 3D-печати пластиком и их применение в промышленности.

Аддитивные технологии в литейном производстве: преимущества и возможности.

Керамическая 3D-печать для НИОКР и производства.

3D-сканирование и компьютерная томография как уникальные методы контроля изделий, произведенных с помощью аддитивных технологий.

Опыт контрактного аддитивного производства.

26
октября, Москва

Выставочный центр
«ИнфоПространство»
1-й Зачатьевский переулок, дом 4
м. «Кропоткинская»,
м. «Парк Культуры»

За обновлениями программы
следите на сайте:
www.asold.ru





Уважаемые читатели!

2016 год для Группы компаний Остек ознаменовался красивыми круглыми датами: мы отмечаем 25-летие своей деятельности и проводим 10-й юбилейный симпозиум Асолд. Тема Международного симпозиума этого года — «Аддитивные технологии. Чем удивить искушенного промышленника?»

Выбирая тему юбилейного симпозиума, мы решили вместе с вами подробнее разобраться в феномене бума аддитивных технологий. По данным Союза машиностроителей России мировой рынок растет на 30 % ежегодно. К 2017 году он вырастет до 6 млрд долл., к 2020 году — до 10,8 млрд. С помощью аддитивных технологий корпорация Boeing изготавливает 22 тыс. деталей 300 наименований в год для своих самолетов. General Electric заявила, что готова к серийному производству топливных форсунок.

Не случайно в 22 странах созданы национальные ассоциации по аддитивным технологиям. Вклад России в рынок аддитивных технологий пока составляет 1,5 %. Научный задел нашей

страны — 0,76 % от мирового объема научных публикаций в этой области. За последние 15 лет в России был выдан только 131 патент по различным аспектам аддитивного производства, а это 0,14 % от мирового количества. Однако мы не стоим на месте — наши промышленные компании и исследовательские центры используют и внедряют аддитивные технологии.

Мы предложили стать докладчиками Асолда как представителям зарубежных фирм, так и отечественным практикам и получили их предварительное согласие. В ближайшее время программа будет окончательно сформирована и опубликована на сайте мероприятия.

Празднуя юбилей Остека, мы решили сделать вам приятный подарок: участие в Международном симпозиуме Асолд 2016 «Аддитивные технологии. Чем удивить искушенного промышленника?» будет бесплатным.

Регистрируйтесь на мероприятие и следите за обновлением программы на сайте www.asold.ru.

Антон Большаков, директор по маркетингу

В НОМЕРЕ

НОВОСТИ

- | | |
|---|--|
| <p>4 26 ОКТЯБРЯ В МОСКВЕ ПРОЙДЕТ
X МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
АСОЛД</p> <p>5 УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ МКИНС-2016</p> <p>6 ПРОЦЕССОР ОТ МЦСТ ЭЛЬБРУС
4С ПОЛНОСТЬЮ СООТВЕТСТВУЕТ
СТАНДАРТУ IEEE 1149.1.</p> | <p>6 ООО «ОСТЕК-ТЕСТ» ВОШЛО В ТОП-10
ПОСТАВЩИКОВ ОБОРУДОВАНИЯ ESPEC
CORP. ПО ВСЕМУ</p> <p>7 КОМПАНИЯ EVG РАСШИРИЛА
ВОЗМОЖНОСТИ EVG COMBOND</p> |
|---|--|



ТЕХНОЛОГИИ стр. 18

КАРЬЕРА

**ОСТЕК — КОМПАНИЯ ДЛЯ УМНЫХ И ТАЛАНТЛИВЫХ ЛЮДЕЙ.
ИНТЕРВЬЮ С РУКОВОДИТЕЛЕМ ГРУППЫ КОМПАНИЙ ОСТЕК
А. Г. РАЗОРЕНОВЫМ. 8**

ТЕХНОЛОГИИ

ПОСЛОЙНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ SONOSCAN . . 14

Авторы: Томас Адамс, Илья Нотин, Алексей Чабанов

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ
СЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ. ВИЗИТ В ЦЕХ ПРОИЗВОДСТВА
ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ АО «КОНЦЕРН «АВТОМАТИКА» 18**

Автор: Владимир Мейлицев



КАЧЕСТВО стр. 38

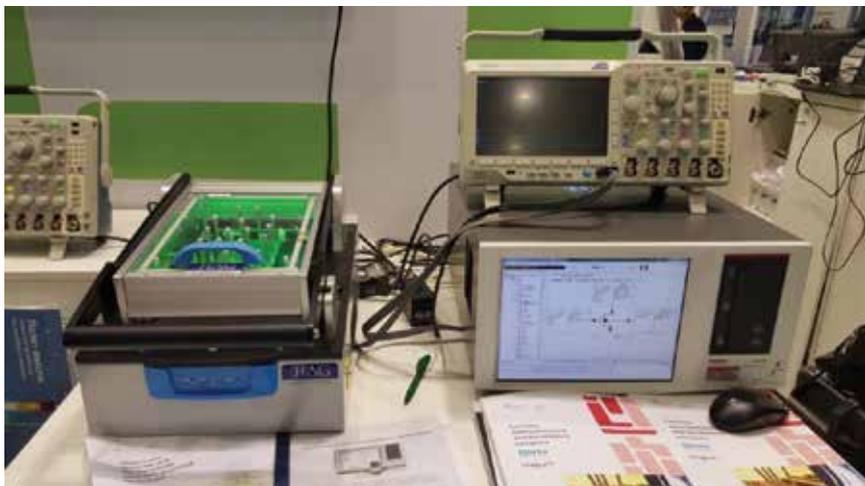
КАЧЕСТВО

**ОДНОКЛАВИШНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВЫХ ШУМОВ
В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ ANAPICO PNA 32**

Автор: Арсений Подолько

**ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА.
КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ 38**

Автор: Павел Косушкин



ОПТИМИЗАЦИЯ стр. 44

ОПТИМИЗАЦИЯ

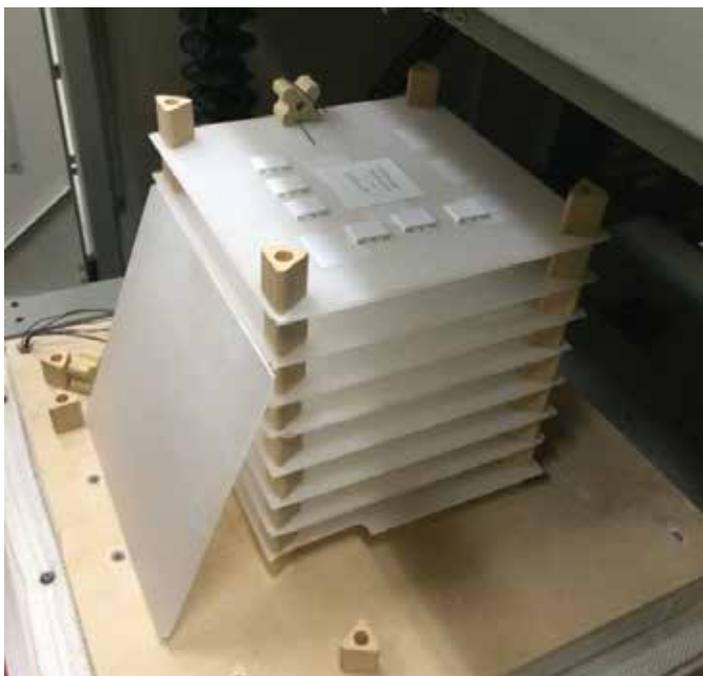
ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ ПЛИС: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД ПРОСТЫМИ СЛОВАМИ 44

Автор: Арсений Ликий

ТЕХПОДДЕРЖКА

ДЕФОРМАЦИЯ ЛТСС-ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБЖИГА 48

Автор: Роман Кондратюк



ТЕХПОДДЕРЖКА стр. 48

АВТОРЫ НОМЕРА

- Алексей Чабанов**
Начальник отдела технического сопровождения ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru
- Илья Нотин**
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru
- Томас Адамс**
Консультант Sonoscan Inc.
- Владимир Мейлицев**
Журнал «Электроника: НТБ»
journal@electronics.ru
- Арсений Подолько**
Старший инженер группы технической поддержки отдела КИП
ООО «Остек-Электро»
ostecelectro@ostec-group.ru
- Павел Косушкин**
Ведущий специалист
Центра технологий контроля
ООО «Остек-СМТ»
info@ostec-ct.ru
- Арсений Ликий**
Старший инженер группы радиоэлектроники технологического отдела
ООО «Остек-Электро»
ostecelectro@ostec-group.ru
- Роман Кондратюк**
Начальник отдела технического сопровождения
ООО «Остек-Интегра»
materials@ostec-group.ru

НОВОСТИ

26 ОКТЯБРЯ В МОСКВЕ ПРОЙДЕТ X МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ АСОЛД

26 октября в Москве пройдет 10-й Международный симпозиум Асолд 2016 «Аддитивные технологии. Чем удивить искушенного промышленника?»

Среди приоритетов технологического развития все большее значение приобретают новые перспективные технологии, в основе которых лежат применение новых материалов, информационных технологий и глубокая автоматизация производственных процессов. Одним из наиболее динамично развивающихся направлений «цифрового» производства сегодня являются аддитивные технологии, до недавнего времени традиционно применяемые в таких передовых отраслях, как автомобильная, авиационная, аэрокосмическая, а также в приборостроении и медицине. Сегодня, в эпоху инновационного развития, технологии аддитивного производства осваивают все больше направлений. По словам ведущих экспертов, это один из важнейших элементов развития промышленности, который несет в себе огромные перспективы для экономики.

На мероприятии будут рассматриваться такие актуальные и интересные темы, как:

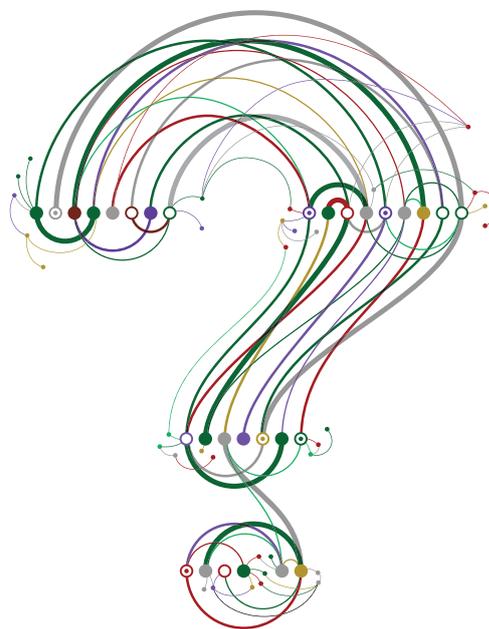
- Аддитивные технологии в литейном производстве: преимущества и возможности.
- Трехмерная печать металлами: технологии, особенности, применения.
- Технологии 3D-печати пластиком и их применение в промышленности.

- Керамическая 3D-печать для НИОКР и производства.
- Опыт контрактного аддитивного производства в НИИИТ.
- 3D-сканирование и компьютерная томография как уникальные методы контроля изделий, произведенных с помощью аддитивных технологий.

Симпозиум Асолд является событием, открывающим возможности для взаимовыгодного сотрудничества университетов и институтов, научно-исследовательских обществ, организаций по стандартизации и отечественных производственных предприятий радиоэлектронной промышленности, нацеленных на освоение новых передовых технологий и выведение своей продукции на международный уровень.

Дата проведения: 26 октября, начало регистрации в 8.30 ч.

Место проведения: выставочный центр «ИнфоПространство», Москва, 1-й Зачатьевский переулок, дом 4 (м. «Кропоткинская», м. «Парк Культуры»).



X
международный симпозиум
АСОЛД 2016

Регистрируйтесь на мероприятие любым удобным для вас способом:

- на сайте: www.asold.ru;
- по электронной почте: info@ostec-group.ru;
- по телефону: (495) 788-44-44;
- по факсу: (495) 788-44-42*.

*При регистрации по электронной почте и факсу указывайте: название мероприятия, наименование предприятия, Ф.И.О., должность и телефон.

По вопросам размещения и бронирования гостиниц обращайтесь в компанию «А&А», контактное лицо Рыбакова Ирина, e-mail: bron42@zabroniryi.ru, тел.: +7 (495) 229-52-87 доб.: 2018, +7 (831) 220-08-20 доб.: 2018.

За обновлениями программы и новостями следите на сайте Международного симпозиума Асолд 2016 – www.asold.ru. 

УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ МКИНС-2016

30 мая – 1 июня 2016 года прошла XXIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам, организованная ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Конференция проводилась при поддержке Научного совета РАН по проблемам управления движением и навигации, Российского фонда фундаментальных исследований; Международной общественной организации «Академия навигации и управления движением»; Национального исследовательского университета ИТМО; Американского института аэронавтики и астронавтики; Института инженеров по электротехнике и электронике – общества аэрокосмических и электронных систем (IEEE-AESS), США; Ассоциации аэронавтики и аэронавтики Франции; Французского института навигации; Немецкого



института навигации и журнала «Гироскопия и навигация».

ООО «Остек-Тест» активно принимает участие в подобных конференциях, демонстрируя экспертный уровень в вопросах аттестации, шефмонтажа и пусконаладки оборудования для проведения испытаний различных систем навигации. Специалисты и сервисные инженеры Остек-Тест предлагают заказчикам не только типовые технические решения, но и возможность реализации технических вопросов, связанных с запуском и пусконаладкой сложного прецизионного высоко-

точного оборудования. Обладая богатым опытом в этой области, ООО «Остек-Тест» может предложить своим заказчикам уже отработанные решения, реализованные на площадках ведущих ИЦ предприятий России и СНГ.

Также в течение двух дней участники конференции смогли «вживую» знакомиться с установкой для динамических испытаний приборов и устройств в одноосевом направлении.

Специалисты ООО «Остек-Тест» наглядно продемонстрировали преимущества обновленной системы управления, позволяющей не только проводить испытания с русифицированным программным обеспечением изготовителя, но и с аутентичным софтом заказчика. После демонстрации участники мероприятия задавали вопросы, связанные с тонкостями аттестации данного оборудования.

По общему мнению участников конференции, мероприятие собирает в своих стенах лидеров отрасли, объединяя их в единое профессиональное сообщество. Приятно было видеть в этом сообществе и ООО «Остек-Тест».



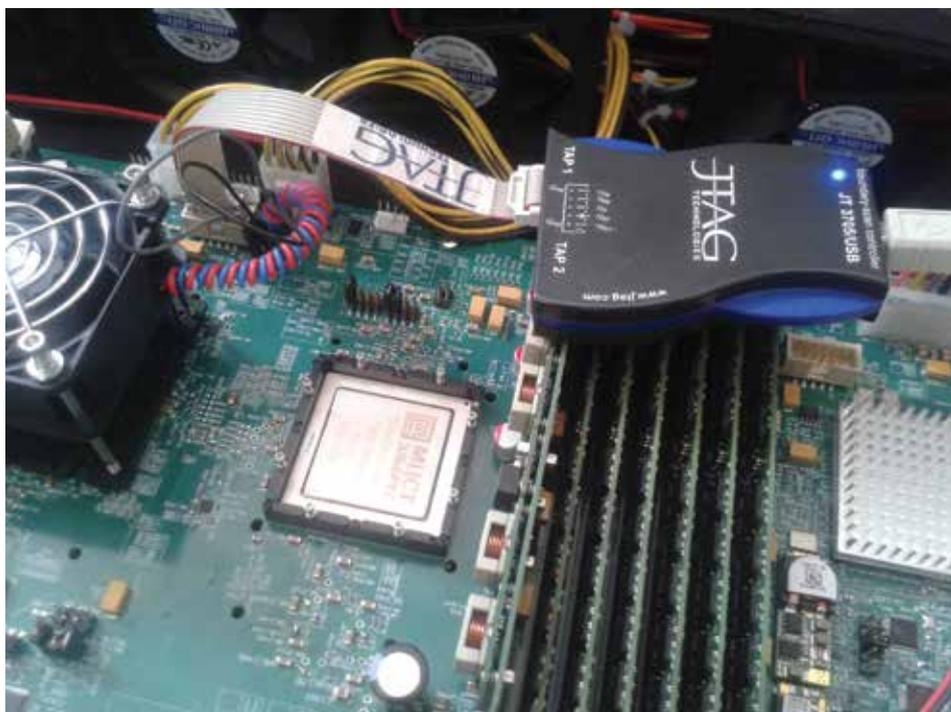
ПРОЦЕССОР ОТ МЦСТ ЭЛЬБРУС 4С ПОЛНОСТЬЮ СООТВЕТСТВУЕТ СТАНДАРТУ IEEE 1149.1.

Такой вывод сделан после совместных работ по верификации, проведенных сотрудниками МЦСТ и российского представительства JTAG Technologies.

Технология периферийного сканирования позволяет автоматически тестировать межсоединения собранных плат, на которые установлены компоненты с поддержкой стандарта IEEE 1149.1, с удобной и информативной диагностикой дефектов, точность которой доходит до отдельных выводов компонентов и цепей. Диагностируются короткие замыкания, обрывы, перекрутки, отсутствие компонентов, брак микросхем. Это свойство периферийного сканирования особенно полезно при тестировании плат,

содержащих микросхемы BGA, так как физического доступа к электрическим цепям, который используют другие тестовые методы, у таких изделий нет. Тест платы обычно занимает несколько десятков секунд.

В процессе работы было верифицировано не только наличие архитектуры периферийного сканирования в процессоре Эльбрус 4С и корректность BSDL-описания, но и протестирована плата, на которую такие компоненты устанавливаются. Приложения были разработаны в программе JTAG ProVision, при этом использовались различные контроллеры производства JTAG Technologies. 



ООО «ОСТЕК-ТЕСТ» ВОШЛО В ТОП-10 ПОСТАВЩИКОВ ОБОРУДОВАНИЯ ESPEC CORP. ПО ВСЕМУ МИРУ

В мае 2016 года корпорация Espec (Япония) подвела итоги 2015-2016 г., по результатам которых ООО «Остек-Тест» вошло в десятку лучших дистрибьюторов оборудования компании Espec по всему миру. В честь этого события «Остек-Тест» был удостоен памятной награды, подтверждающей высокие компетенции и профессионализм на рынке испытательного оборудования.

ООО «Остек-Тест» не только предоставляет испытательное оборудование, но и обеспечивает шефмонтаж, пусконаладку и обучение специалистов заказчиков работе на этом оборудовании.



КОМПАНИЯ EVG РАСШИРИЛА ВОЗМОЖНОСТИ EVG COMBOND

Ассортимент компании Espes включает более 500 стандартных моделей, из которых наиболее популярны:

- настольные камеры тепла, холода и влаги серии Bench-top;
- камеры тепла, холода и влаги серий Platinous и AR;
- камеры большого объема серии Walk-in;
- камеры большого объема серии FM;
- камеры термоциклирования серии Global-N;
- камеры термоудара с подвижной/неподвижной рабочей зоной серий TSD, TSE, TSA;
- сушильные и вакуумные шкафы.

Кроме стандартных решений для испытаний на воздействие климатических факторов производится специальное оборудование:

- камеры ускоренного старения серии HALT/HAST;
- термовлагодорокамеры серии MZT/MZH;
- камеры термоудара жидкость-жидкость серии TSB. 

Новые модули совмещения и термообработки позволяют использовать систему при производстве широкого спектра передовых МЭМС.

Компания EV Group, ведущий производитель оборудования для сварки пластин и литографии в области МЭМС, нанотехнологий и полупроводниковой промышленности, представила платформу EVG ComBond с обновленными возможностями. Эти возможности стали доступны благодаря новому модулю совмещения для вакуумной сварки, который позволяет совмещать пластины по верхней стороне с субмикронной точностью, что необходимо для формирования МЭМС-структур

на пластине, а также новому модулю термообработки, который позволяет достичь непревзойденного качества сварки и, как следствие, высокого качества конечного компонента на основе МЭМС.

Эти два модуля в совокупности с имеющимися возможностями платформы EVG ComBond позволяют осуществлять ковалентную сварку структурированных пластин при комнатной температуре при производстве современных и перспективных компонентов на основе МЭМС, таких как гироскопы, микроболометры и сложные датчики для автономных автомобилей, систем виртуальной реальности и прочих применений. 



КАРЬЕРА

Остек — компания для УМНЫХ и ТАЛАНТЛИВЫХ людей

»

В любом бизнесе все начинается с людей. За 25 лет деятельности компании руководство Остека сформировало команду высокопрофессиональных специалистов, которые всегда были и остаются одним из ключевых факторов достижения успеха. О роли сотрудников в работе компании и приоритетах дальнейшего развития кадрового потенциала рассказывает руководитель ГК Остек Александр Геннадиевич Разоренов.

В Остеке важен каждый человек. Я считаю, что мы сформировали команду высококлассных специалистов, и это не только ключевые руководители, но и рядовые сотрудники

Расскажите, пожалуйста, какую роль играют сотрудники в бизнесе Группы компаний Остек

Конечно, самую главную. В любой компании сотрудники определяют ее уровень и возможности. А в инженеринговой компании, которая выполняет сложную инженерную работу, решает новые нестандартные задачи, использует и внедряет прорывные передовые технологии, квалификация, знания, опыт, креативность и ответственность специалистов являются ключевыми факторами успеха. В Остеке важен каждый человек. Я считаю, что мы сформировали команду высококлассных специалистов, и это не только ключевые руководители, но и рядовые сотрудники. Доказательством этого является успешная история развития Группы компаний Остек в течение 25 лет.

Сейчас мы работаем в сложных экономических условиях: это и рост курсов валют, непростая ситуация с санкциями, серьезные изменения в законодательстве, резкое ухудшение условий для бизнеса и жесткая конкуренция за клиентов. Каждый день — это новый вызов. Мы отдаем себе отчет, что особенно в кризис уровень компетенций, профессионализма сотрудников является критически важным фактором, который позволяет Остеку двигаться вперед и уверенно чувствовать себя на рынке.

Что собой представляет команда Остека сегодня?

За последние несколько лет численность компании серьезно выросла — с 2013 года почти в полтора раза. Сейчас в ГК Остек работают более 500 специалистов. У нас молодая и амбициозная команда. Средний возраст не превышает 35 лет, при этом в штате у нас 19 кандидатов наук и профессор. Мы также сохранили основу Остека — наших ключевых специалистов, которые работают в компании практически с самого ее создания. Это наши внутренние эксперты, активно участвующие в обучении новых сотрудников. Даже несмотря на значительное увеличение штата за счет новых кадров, средний стаж работы в компании составляет почти 5 лет. Это говорит о том, что значительная часть специалистов, которая к нам приходит, остается у нас работать.



Какими основными качествами должен обладать специалист, чтобы стать сотрудником Группы компаний Остек?

Если мы говорим о профильных специалистах, тех, кто работает непосредственно с клиентами, управляет проектами, занимается развитием бизнеса, то, конечно, очень важен уровень технической подготовки. Большая часть сотрудников Группы компаний Остек, как правило, имеет отличное техническое образование: у нас работают выпускники МГТУ им. Баумана, МИФИ, МАТИ и других ведущих ВУЗов.

Для руководителей важно обладать лидерскими качествами, умением принимать решения, видеть перспективы и ставить амбициозные цели и задачи, организовывать процессы таким образом, чтобы эти цели достигались. С точки зрения нашей корпоративной культуры в целом каждый сотрудник должен уметь работать



в команде, иметь отличные коммуникативные навыки и быть вовлеченным в то, что он делает. Для меня это означает высокий уровень эффективности и результативности.

Ну, и конечно, в нашей деятельности просто необходимо желание развиваться, быть открытым новым знаниям. Одна из книг, которую мы дарим нашим сотрудникам, — «Физика будущего» Митио Каку, в ней есть отличная цитата, которая отражает всю важность познания нового: «Наука и техника — двигатели процветания. Разумеется, каждый волен игнорировать их — но под свою ответственность. Мир не станет стоять на месте... Если вы не сумеете овладеть последними достижениями науки и техники, это сделают ваши конкуренты».

Остек стремится стать многопрофильным научно-производственным холдингом, и наши интересы не ограничиваются только российским рынком

Какие специалисты сейчас нужны Группе компаний Остек?

Несмотря на все внешние сложности сегодня мы создаем новые продукты, активно работаем в области выхода на международные рынки, решаем задачи, связанные с диверсификацией бизнеса. Также мы развиваем такие направления, как, например, аддитивные технологии, комплексные решения в области энергосбережения и энергоэффективности, решения для производств микроэлектроники и целый ряд других. Поэтому нам, в первую очередь, нужны профессиональные управленцы, которые способны помочь в реализации этих планов. Остается также высокая потребность в технических экспертах, имеющих большой практический опыт в наших ключевых областях, таких как производство электронных компонентов, печатных плат, электротехнических компонентов, в производстве радиоэлектронной аппаратуры. Как и любая компания, мы ориентированы на привлечение только самых лучших специалистов, которые смогут помогать нашим клиентам реализовывать сложные проекты, находить самые эффективные решения нетривиальных задач в условиях российского производства.



Как, по Вашему мнению, будет меняться рынок профильных специалистов в сфере микроэлектроники?

Я считаю, что дефицит высокопрофессиональных специалистов будет сохраняться, причем не только в сфере микроэлектроники, но и во всех высокотехнологичных отраслях производства. На мой взгляд, сейчас он уже критический — профессионалы нужны всем. Задачи становятся сложнее, а уровень компетенций, который необходим для их решения, возрастает. Это предъявляет серьезные требования к кандидатам. Но и Остек, как работодатель, понимает, что для того, чтобы в нашей команде работали лучшие специалисты, мы должны обеспечивать оптимальные условия работы, возможности для профессионального и карьерного развития. В этом году мы еще активнее сфокусируемся на работе с брендом Группы компаний Остек как профессионального работодателя, идеальной компании для умных и талантливых людей.

Почему, на Ваш взгляд, специалистам стоит приходить работать в Остек?

Если мы говорим о перспективных начинающих молодых специалистах, то Остек — это то место, где есть возможность получить разноплановый опыт. Проекты, которые мы делаем для своих клиентов — это сложно, но и интересно. Мы строим глобальную компанию, по сути Остек стремится стать многопрофильным научно-производственным холдингом, и наши интересы не ограничиваются только российским рынком. А это реальные возможности развития. В Группе компаний Остек можно построить профессиональную и управленческую карьеру. Кстати, это наша стандартная практика — продвигать на ключевые позиции наших собственных сотрудников, которые начинали работать как рядовые специалисты.

Для профессионалов, на мой взгляд, особенно важно, с каким продуктом работает компания, кто ее партнеры, какой уровень сервиса она может предложить своим те-



кущим и потенциальным клиентам. Для нас всегда была значима наша профессиональная репутация на рынке, мы ориентированы на построение и сохранение долгосрочных взаимоотношений с клиентами. Остек работает с ведущими поставщиками, мы внимательно отслеживаем все новые тенденции, которые появляются в отрасли, чтобы предлагать клиентам лучшее. Для профессионала это означает возможность самореализации, полноценного применения своего опыта и работу в команде с такими же высококлассными специалистами.

Остек работает с ведущими поставщиками, мы внимательно отслеживаем все новые тенденции, которые появляются в отрасли. Для профессионала это означает возможность самореализации и полноценного применения своего опыта

Какие ключевые ориентиры в кадровой политике Группы компаний Остек Вы можете отметить в перспективе 3 лет?

Укрепление и развитие кадрового потенциала Остека как непрерывно развивающейся, энергичной, профессиональной, целеустремленной и мотивированной команды, способной своевременно реагировать на постоянно меняющиеся требования внешнего окружения, стремящейся к новым достижениям и лидирующим позициям на международных рынках.

Развитие ключевых компетенций у сотрудников, необходимых для достижения поставленных целей, развитие инструментов повышения эффективности и результативности, развитие и удержание талантливых, успешных сотрудников. 



Новый язык управления производством

LOGOS

Цифровая
система
управления



Система LOGOS разработана специалистами Группы компаний Остек для управления производственными процессами на современных российских предприятиях. Система открывает новые возможности по сбору и обработке информации, необходимой для принятия решений, от которых зависят качество, сроки и эффективность работы предприятия.

Протестируйте систему бесплатно!*

Преимущества системы

- исчерпывающая и объективная картина производства для руководителя предприятия;
- прозрачность производственных процессов на всех уровнях;
- прослеживаемость продукции по всему технологическому циклу;
- оперативное и перспективное планирование на основе точных данных;
- диагностика и предупреждение отклонений по качеству, срокам и эффективности;
- сокращение издержек за счет оптимизации ресурсов и снижения доли незавершенного производства.

* Для получения бесплатной 30-дневной полнофункциональной версии системы обращайтесь по тел.: (495) 788-44-44.



будущее
создается



www.logos-system.ru
(495) 788 44 44
logos@ostec-group.ru



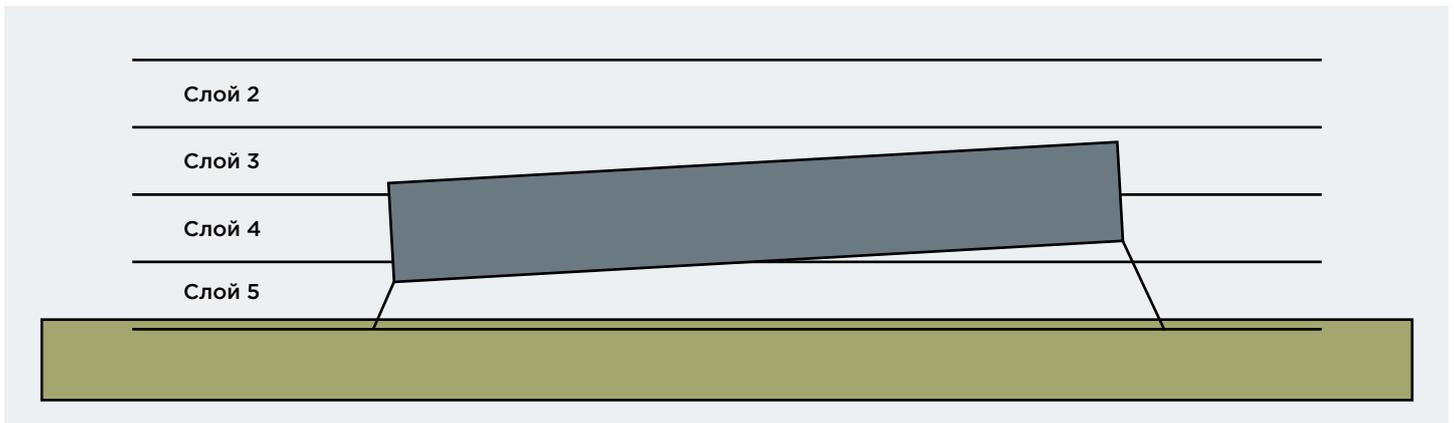
ТЕХНОЛОГИИ

Послойная акустическая микроскопия Sonoscan

Текст: **Томас Адамс**
Илья Нотин
Алексей Чабанов

”

Задача акустической микроскопии — отображение и анализ внутренних структур в изделиях без их разрушения. Для этой цели используются ультразвуковые импульсы, направленные к поверхности образца, с последующей регистрацией отраженного сигнала. Ультразвуковой импульс отражается исключительно на границах раздела материалов, что позволяет увидеть как структуру изделия, так и имеющиеся дефекты. Например, граница раздела эпоксидного компаунда и кремниевого кристалла отражает около 70 % энергии ультразвукового импульса. Остальная часть проходит через границу вглубь образца, где она, в свою очередь, может отразиться от других границ раздела материалов, обеспечивая тем самым наиболее наглядное изображение внутренней структуры исследуемого образца.



1
Схема расположения слоев при исследовании компонента в пластиковом корпусе типа BGA

Микросхемы в пластиковом корпусе и другие изделия электроники могут иметь границы раздела на различных глубинах. Амплитуда отраженного сигнала зависит от комбинации материалов, формирующих границу раздела. При оценке надежности компонента один из главных факторов, влияющих на надежность, — наличие дефектов типа воздушных полостей в твердых материалах. Любая подобная граница раздела (воздух — твердое тело) отражает практически 100 % импульса. На акустических изображениях такие полости обозначаются белым цветом. Этот цвет обычно говорит о наличии таких дефектов, как отслоения, непропаи, трещины и пустоты. Амплитуда отраженного сигнала на границе раздела двух твердых материалов меньше и отображается на акустическом изображении в серых тонах. Программно можно назначить и другие особые цвета для отображения различных диапазонов амплитуд.

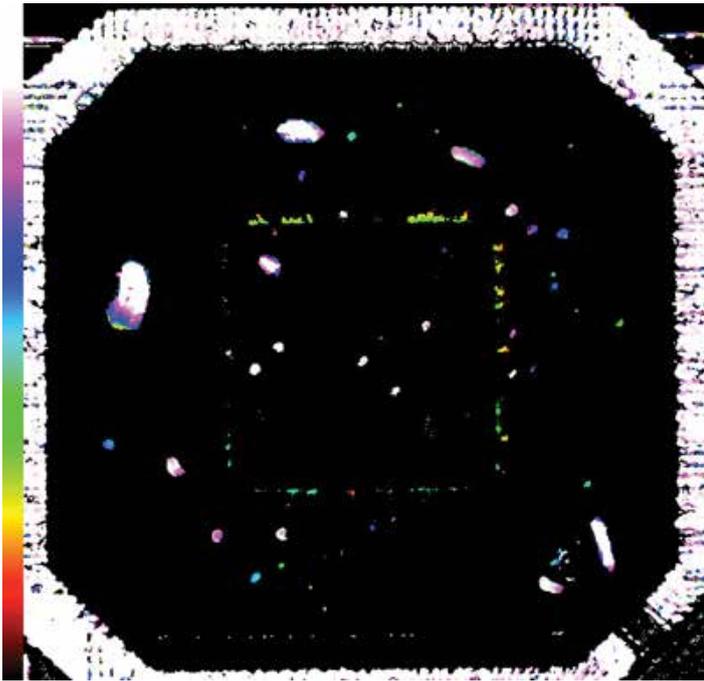
Если на преобразователь акустического микроскопа поступает отраженный сигнал с различных глубин, то полученное изображение может оказаться сложным для анализа. Акустическое изображение обычно представляет собой поле в плоскости XY, но при наличии дефектов на разных глубинах залегания (по оси Z) сложно определить по изображению, на какой глубине он находится. К примеру, если имеется участок белого цвета, трудно сказать, является ли он признаком отслоения компаунда от верхней поверхности кристалла или клеевого слоя между кристаллом и подложкой. В случае микросхем в пластиковых корпусах пустоты в корпусе могут располагаться на различных глубинах.

Для решения данной проблемы можно использовать фильтрацию сигнала с заданием диапазона по глубине. Например, зачастую требуется исследовать область

между кристаллом и компаундом, так как именно там возникает большая часть дефектов, приводящих к отказам компонента. При задании диапазона по глубине, несмотря на то, что преобразователь будет воспринимать все приходящие на него сигналы, программное обеспечение отобразит только те сигналы, время регистрации которых соответствует заданному диапазону глубин. Однако следует помнить, что дефекты могут возникать и на других глубинах, которые не вошли в заданный диапазон.

Компания Sonoscan решила эту проблему, разработав систему, одновременно создающую несколько акустических изображений на различных диапазонах глубин при сканировании образца. При этом время, затрачиваемое на полное сканирование образца, не изменяется, т.к. скорость перемещения преобразователя остается прежней. Для получения изображений верхней и нижней частей кристалла оператор задает два диапазона глубин и получает два изображения области на заданных глубинах. При необходимости оператор может задать десятки и даже сотни таких диапазонов. Программное обеспечение выполнит фильтрацию входящего сигнала и сохранит полученные изображения в отдельные файлы.

Обычно задается более двух диапазонов (слоев) сканирования. Для более полного исследования структуры компонента в пластиковом корпусе и более точного выявления дефектов могут потребоваться шесть, 10 или более диапазонов глубин. Пластиковый компонент в корпусе типа BGA (используемый для примера в статье) помимо прочего имеет дефект монтажа кристалла: кристалл наклонен относительно плоскости подложки. При исследовании данного компонента были получены семь акустических изображений слоев толщиной около



2
Акустическое изображение слоя № 2 верхней части компонента. Заметны пустоты и верхние части проволочных соединений

250 мкм, расположенных на различных глубинах. Слой вблизи верхней поверхности кристалла практически не имеет границ раздела материала за исключением пустот. На рис 1 приведена схема расположения четырех из семи заданных слоев (с № 2 по № 5).

При задании диапазонов глубин возможно получение изображений распределения амплитуд сигнала, полярности и/или времени регистрации сигнала (т.е. расстояния до преобразователя). Все приведенные в данной статье акустические изображения отражают распределение амплитуды сигнала в границах заданных диапазонов. Задаваемые слои могут иметь как одинаковые, так и различные толщины. Наименьшим возможным значением толщины слоя является расстояние, которое ультразвуковой импульс проходит в данном материале за 1 нс. Так, скорость распространения звука в компаундах, используемых в электронике, составляет около 3000 м/с. Это значит, что минимальная толщина исследуемого слоя в таком материале составит 3 мкм. Скорость распространения звука в кремнии и меди составляет соответственно около 8300 м/с и 5010 м/с.

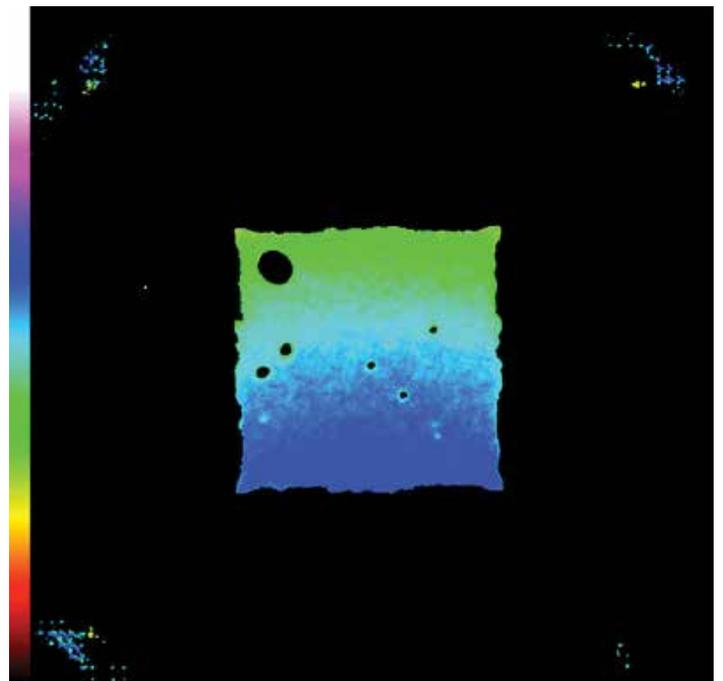
На рис 2 приведено акустическое изображение слоя № 2 компонента в пластиковом корпусе типа BGA. Данный слой включает область вблизи верхней поверхности кристалла. Белые, розовые и синие участки соответствуют пустотам в компаунде. Так, белый цвет соответствует максимальному значению амплитуды отраженного сигнала, за ним следуют розовый и синий цвета. Квадратная структура в центре сформирована верхними частями проволочных выводов, возвышающихся над кристаллом, сам же кристалл не виден.

На рис 3 показано акустическое изображение слоя № 3 того же компонента. В нижней части преобладает синий цвет, плавно переходящий в зеленый, что говорит о том, что кристалл наклонен. Синий цвет показывает, что в этой области кристалл располагается ближе к верхней границе исследуемого слоя, зеленый — соответствующая область кристалла находится глубже.

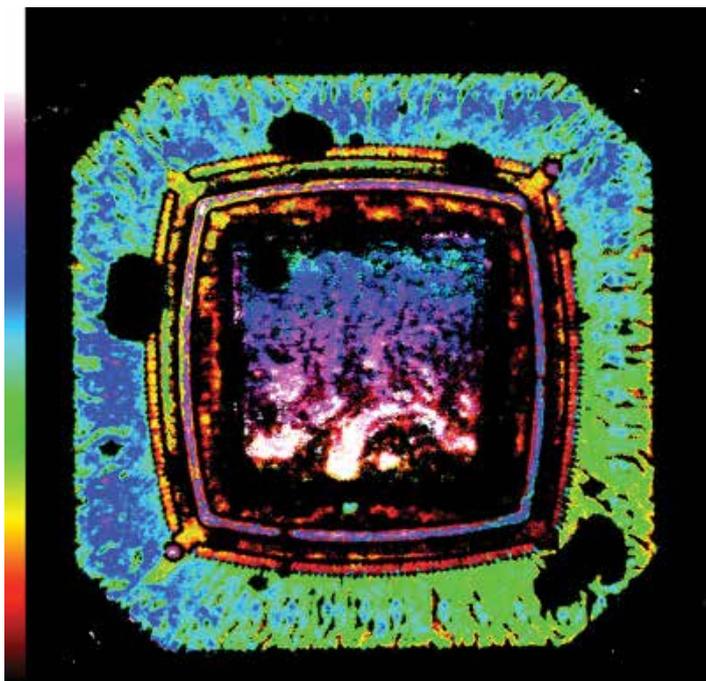
Черные участки на изображении — акустические тени пустот, располагающиеся в вышележащих слоях. Происходит следующее: ультразвуковой импульс практически полностью отражается от пустот, лежащих выше, однако отраженные импульсы фильтруются согласно текущему заданному диапазону толщины. Таким образом, ультразвуковой импульс достигает интересующей нас границы кристалл-компаунд за исключением части импульса, отраженной упомянутыми пустотами, что и приводит к появлению темных областей.

На рис 4 приведено изображение части кристалла и клеевого слоя. Пустоты, находящиеся выше, дают акустические тени, как и в предыдущем случае. Попавшая на изображение верхняя часть наклоненного кристалла окрашена в синий цвет. Наибольший интерес представляют необычные структуры в нижней части, которые могут быть пустотами или другими дефектами клеевого слоя.

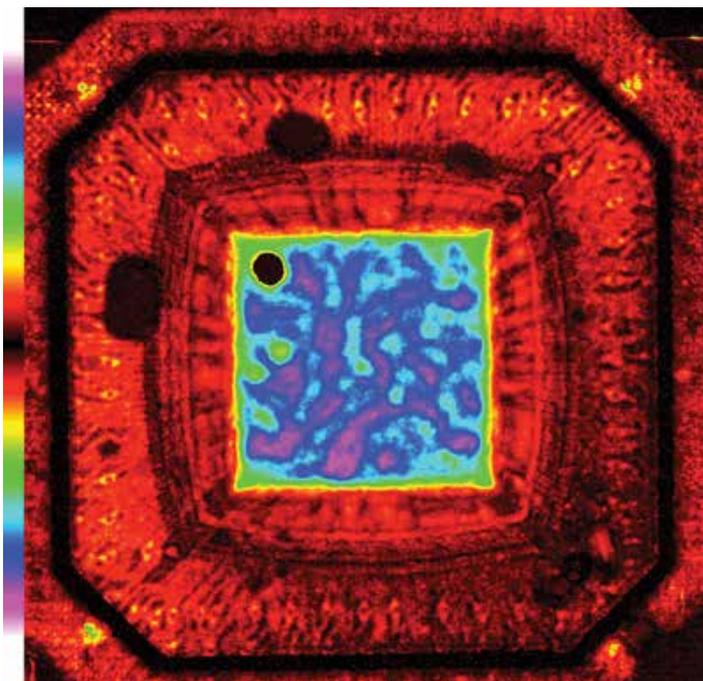
Поверхность клеевого слоя наклонена относительно плоскости изображения (и верхней плоскости компонента), как и сам кристалл. Подложка также выглядит наклоненной, даже учитывая, что изображение отражает распределение амплитуды сигнала, а не пройденное им расстояние. Причиной подобного наклона может быть различие в толщине компаунда: в нижней правой части он может быть толще, чем в верхней левой.



3
Акустическое изображение слоя № 3. Видна поверхность наклоненного кристалла



4 Акустическое изображение слоя № 4, включающего части кристалла и клеявого слоя



5 Акустическое изображение слоя № 5. Видна структура клеявого слоя и наклон подложки

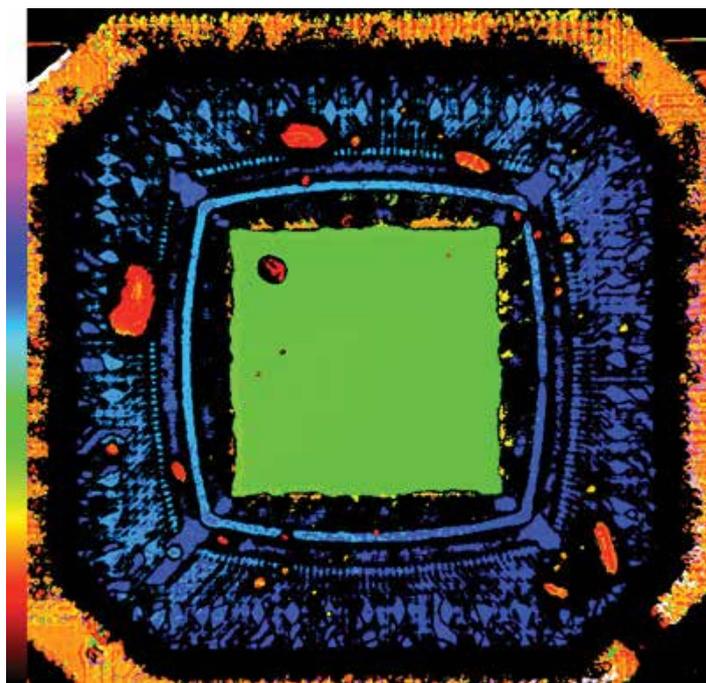
На рис 5 можно увидеть акустическое изображение слоя № 5, который дает представление о структуре клеявого слоя. Розовые участки соответствуют полостям в клеявом слое, а сине-зеленые — областям с хорошей адгезией. На изображении видна и акустическая тень полости в компаунде. Подложка немного наклонена (изображение справа внизу темнее), как и на предыдущем изображении.

На рис 6 представлено не просто акустическое изображение одного слоя. Данное изображение было получено путем регистрации расстояния, пройденного сигналом, с последующим заданием соответствующего цвета. Таким образом, цвета не обозначают дефекты типа пустот. Красным цветом показаны области, расположенные к преобразователю ближе других. В данном случае это полости в верхней части корпуса. Зеленым цветом обозначена поверхность кристалла. Нижняя левая область включает цвета от синего до розового, что говорит о большом расстоянии до преобразователя. Наклоненный кристалл окрашен целиком в зеленый цвет — его площадь намного меньше площади подложки.

Четыре акустических изображения слоев: №№ 2, 3, 4 и 5, рассмотренные выше, позволяют последовательно исследовать внутреннюю структуру компонента типа BGA путем задания следующих друг за другом диапазонов глубин. Каждый заданный слой имеет толщину около 250 мкм. Данный компонент можно исследовать и с использованием 30 слоев толщиной около 40 мкм.

Рассмотренный метод позволяет осуществить тщательный анализ структуры компонентов в пластиковых

корпусах, анализ керамических конденсаторов и других изделий, имеющих слоистую или сложную структуру, включающую дефекты, расположенные на различных глубинах. Это, в свою очередь, дает технологам неоценимые преимущества и возможности при анализе причин отказов компонентов и существующей технологии производства. [N]



6 Акустическое изображение компонента с распределением пройденного сигналом расстояния

Технологическая база для электроники следующих поколений

Визит в цех производства
печатных плат
АО «Концерн «Автоматика»

Текст: Владимир Мейлицев

»

АО «Концерн «Автоматика» — крупнейшее предприятие Российской Федерации по разработке и производству технических средств засекреченной связи, защищенных телекоммуникационных систем, а также систем автоматизированного управления специального назначения. Осваивая все самые передовые материалы и технологии своего времени и при необходимости разрабатывая собственные, концерн в течение 60 лет изготавливал печатные платы (ПП) — физическую основу своей продукции; но три года назад вдруг прекратил их производство. Почему? Потому что пришло время для нового технологического рывка, который позволил бы изготавливать платы самой высокой конструктивной сложности — иначе была бы утрачена способность предприятия выпускать приборы и системы с необходимым сегодня функционалом.

Совместно с Группой компаний Остек концерн провел коренную реконструкцию и переоснащение цеха по производству ПП, и теперь по своим техническим возможностям в этом отношении входит в группу элитных российских предприятий, для пересчета которых с избытком хватило бы пальцев одной руки. Высокоточную электронику могут выпускать многие российские компании, но подавляющее их большинство собирает ее на платах стороннего, часто зарубежного производства, особенно когда речь идет о платах высокой сложности. А тут — отечественное предприятие, на котором освоено изготовление многослойных печатных плат (МПП) 5-го класса точности с элементами 7-го! Мы не могли оставить без внимания такое явление и с благодарностью приняли приглашение посетить концерн. Нас встретил в своем кабинете первый заместитель генерального директора, главный инженер Евгений Валентинович Котов.

Как вы оцениваете значение создания в концерне производства современных прецизионных печатных плат?

Е. Котов: Наше предприятие начало производить печатные платы более 60 лет назад. Мы прошли всё: и толстопленочную технологию, и тонкопленочную, гибридную технологию на различных материалах — на ситалле, на полиимиде, на поликоре и даже на титалане, который сами изобрели. И вот мы на три года приостановили производство. Демонтировали старое оборудование, произвели инженерно-строительные работы — более высокий класс точности требует чистого производства. Мы действительно поставили уникальную технологию. Конечно, рано говорить, что мы достигли в ней вершин мастерства, но мы дошли до конца, уже делаем уникальные для нашей страны платы, которые раньше втридорога заказывали за рубежом. Это большой шаг; а если сумеем поставить следующую технологию — изготовление гибко-жестких печатных плат, — то будем полностью готовы к производству электроники самого современного уровня.

Этот цех вы готовили только для собственных нужд?

Е. Котов: Не только. По окончании квалификационных испытаний печатных плат, изготовленных на технологической линейке цеха, все предприятия концерна, расположенные в центральном регионе, получают указание



Е. Котов

прекратить заказывать платы у сторонних производителей — всё будет делаться здесь.

Но это еще не решение вопроса. Сегодня бюджет нашего предприятия, да и всех предприятий, входящих в концерн, в основном состоит из Гособоронзаказа. Чтобы чувствовать себя устойчиво, нужно развивать коммерческое направление. По перспективному финансовому плану нам надо к 2025 году с объема выпуска 15 млрд руб. в год выйти на рубеж 86 млрд руб. При этом мы понимаем, что рынку надо предложить продукцию, в которой мы могли бы использовать свой, наработанный десятилетиями, опыт и знания, и такая продукция есть. В условиях жесткой конкуренции закрытый доступ к информации — голубая мечта всех бизнес-структур, и нам уже есть что предложить им.

Есть и другое направление работы. Мы уже рассматриваем поступающие предложения по контрактному производству — изготовлению печатных плат и электронных модулей для компаний, не входящих в состав концерна. Предприятие имеет технологическую линейку автоматизированного монтажа, включая элементы с шариковыми выводами, и оборудование для тестирования и контроля электронных узлов.

В переоснащение производства вложены большие средства. Как вы думаете, в какие сроки они могут окупиться?

Е. Котов: Быстрая окупаемость — не цель этого проекта. Основной задачей было обеспечить технологической базой наши новые разработки. Для современных устройств нужны именно такие платы — высокого

класса точности, с глухими переходными отверстиями, с возможностью ставить компоненты BGA и другие с матричным расположением выводов. Да еще наши платы должны иметь специальные электрофизические свойства... Предприятий, способных выпускать такой продукт, в России практически нет. Вот что нам нужно было в первую очередь; а окупить затраты в течение трех или пяти лет — нет, такую цель мы перед собой не ставили. Но мы, запустив этот набор оборудования, создали колоссальный задел — его хватит не только на это поколение электронных устройств, но и на следующее. В сочетании с технологией поверхностного монтажа, поставленной на предприятии ранее, срок окупаемости оборудования не будет длительным.

После такого вступления желание осмотреть новое производство возросло многократно. По цеху нас провели заместитель начальника цеха печатных плат Дмитрий Витальевич Карпов и главный технолог ООО «Остек-Сервис-Технология» Аркадий Михайлович Сержантов.

А. Сержантов: Начало процессу модернизации цеха по производству ПП было положено в 2007 году, когда Московский государственный проектный институт приступил к разработке проекта реконструкции. Активное переоснащение началось в 2010 году. Строительную часть — освобождение и ремонт помещений, прокладку коммуникаций, оборудование гермозон и т. п. — выполняли специалисты Группы компаний Остек. Определение состава оборудования, его поставка, установка, наладка, запуск, выпуск опытных партий продукции



А. Сержантов



А. Ратников

и обучение персонала осуществлялось компанией «Остек-Сервис-Технология».

Критерием успешного завершения этих работ стало изготовление тестового изделия — 12-слойной печатной платы высокой сложности. Плата в целом соответствует 5-му классу точности и имеет элементы, соответствующие 6-му и 7-му классу. Ее характерные параметры: минимальная ширина проводника / зазора 75 / 75 мкм, размер площадки 0,4 мм, диаметр сверления 0,3 мм при гарантийном пояске 25 мкм и аспектном отношении 10, возможность установки BGA-компонентов. Первые платы на новом оборудовании делались объединенной командой «Остек-Сервис-Технологии» и концерна «Автоматика». После этого мы передали цеху операционную технологию на каждую единицу оборудования, и сейчас уже без нашего участия выпущена установочная партия для квалификационных испытаний.

Заканчивая рассказ об «истории вопроса», хочу отметить, что в 2007 году, когда все начиналось, плат 6-го и 7-го классов еще не существовало, и техническое задание было выпущено на линию изготовления плат по 5-му классу точности. Но мы совместно с начальником цеха, к.х.н. Александром Павловичем Ратниковым сознательно подбирали оборудование с резервами по увеличению сложности и качества, чтобы обеспечить задел на долгую перспективу.

Какие базовые материалы могут применяться для плат, производимых на оборудовании цеха?

А. Сержантов: Данная технология позволяет работать со всеми диэлектриками, применяемыми в электронной промышленности: стеклопластиковыми, полиимидами, стеклонаполненными полиимидами на основе эпоксиднополиимидного связующего, материалами типа Rogers и другими СВЧ-диэлектриками. Мы поставляем

в основном материалы японской фирмы Hitachi. Конкретно же платы установочной партии изготовлены из массового базового материала класса FR-4. Единственное, что действительно важно, — чтобы базовый материал закупался в комплекте с соответствующим ему препрегом.

Операция, с которой начинается изготовление ПП, — раскрой базового материала и препрега. В концерне принята заготовка стандартного типоразмера 305 x 457 мм, которая может быть индивидуальной или групповой в зависимости от габаритов изготавливаемых плат. Перед запуском заготовки проходят процедуру термостабилизации: выдерживаются в термошкафе при температуре 120 °С в течение 2 ч и затем остывают вместе со шкафом. Это необходимо для снятия внутренних напряжений и, как следствие, уменьшения усадки при прохождении последующих этапов технологического цикла.

Различные слои МПП требуют разного состава технологических операций при их изготовлении?

А. Сержантов: Самый короткий маршрут проходят те внутренние слои МПП, в которых отсутствуют межслойные переходы. Такие заготовки не нуждаются в дополнительной металлизации, для создания их токопроводящей структуры достаточно фольги базового материала. Работа с ними начинается сразу с операций фотолитографической группы.

Подготовка поверхности перед нанесением фоторезиста осуществляется на линии Streamline английского производителя Semco. В этой линии реализовано ноу-

хау: бесконтактная технология жидкостного движения заготовок. Раствор подается в виде ламинарного потока над и под заготовкой, и этот поток перемещает заготовку вдоль процессной камеры. Кроме обеспечения движения, такая подача способствует более быстрой и равномерной — по сравнению с традиционными линиями — химической обработке поверхностей. Введение и выведение заготовки в камеру производится цилиндрическими валками; это, в сочетании с принципиальным отсутствием в самой камере узких роликов, обычных для других систем, полностью исключает какие-либо следы на заготовке, устраняет возможность ее застревания или деформации кромок.

Кроме того, линии типа Streamline отличаются компактностью и удобством обслуживания. Это достигнуто благодаря новаторской конструкции камер обработки — отмечу, инженеры Semco разработали ее под влиянием технических требований, представленных нашей компанией.

Какая технология используется для экспонирования фоторезиста?

А. Сержантов: После нанесения фоторезиста рис 1 и его предварительного задубливания заготовка подается на участок фотолитографии — на установку прямого экспонирования Apollon-D1, модификация M11 рис 2. Производитель — швейцарская компания Printprocess. Таких установок в России сегодня всего 16, а в Европе еще меньше — всего шесть!

В этом образце установлены три экспонирующих головки с ультрафиолетовыми диодами, которые позволяют работать и с фоторезистами, и с паяльными масками,



1 Машина для наслаивания пленочного фоторезиста – ламинатор компании OTS (Корея). Слева от ламинатора – установка обеспыливания



2 Установка прямого экспонирования Apollon-D1-M11

в том числе жидкими. Головки самые лучшие из всех представленных на рынке: машина способна наносить на фоторезист рисунок с шириной проводника и зазора 35 мкм — собственно, это уже уровень микроэлектроники. В обеспечении такого качества немалую роль играет автоматическая система фокусирования луча, нивелирующая влияние неровностей заготовки.

Одна из ключевых особенностей установки — реализованные в ней технологии совмещения. Система, основанная на двух видеокамерах, осуществляет привязку тремя различными методами, отличающимися для внешних и внутренних слоев МПП. Ошибка совмещения в этой машине не превышает 5 мкм, что является одним из лучших в мире показателей для подобного оборудования.

Собственная система фильтрации создает в рабочей камере чистую среду, а заготовка перед экспонированием проходит через абразивные валики, которые счищают с нее пыль.

Наконец, еще одна важная особенность швейцарской машины: в программу, управляющую позиционированием экспонирующих головок, можно ввести масштабирующий коэффициент. Известно, что в процессе

травления слоя МПП он усаживается, и технолог точно знает, на какую величину. Эта величина — возьмем для примера 100 мкм — вводится в программу, и она пересчитывает траектории движения головок таким образом, чтобы рисунок на фоторезисте получился пропорционально увеличенным на 100 мкм. Тогда после травления заготовка, что называется, «войдет в ноль».

Проявление фоторезиста производится на установке Frezer Style; на ней же на заключительных стадиях изготовления МПП проявляют паяльную маску.

Дальше — травление?

А. Сержантов: В большинстве случаев для травления внутренних слоев без межслойных переходов применяется линия кислотного травления с обычным фоторезистом, а для внутренних слоев с межслойными переходами, внешних слоев МПП и двухслойных плат — линии щелочного травления. В концерне «Автоматика» установлена одна линия щелочного травления Frezer Style рис 3, на ней травят и внутренние слои без межслойных переходов, используя для этого универсальный



3

Линия щелочного травления LD 610 AE компании Frezer Style

фоторезист, стойкий к кислым и щелочным травильным растворам. Машина в целом подобна той, на которой проявляется фоторезист, но имеет некоторые конструктивные отличия, обусловленные назначением.

Здесь надо упомянуть одну важную особенность, которая реализована во всех линиях Frezer Style, но наибольшее значение имеет именно для процесса травления. Конвейер, по которому движется заготовка платы, выполнен в виде ряда валов с роликами, причем ролики расположены со сдвигом — в шахматном порядке. Это позволяет расположить валы максимально близко друг к другу, чем достигается возможность работы с очень тонкими материалами и очень маленькими заготовками. Но главное не это. Ролики конвейера оборудованы системой отсоса, которая предотвращает образование застойных натеков травильного раствора. Мало того, в данном процессе «Остек-Сервис-Технология» реализовала свою идею анизотропного травления. Эти два решения обеспечили почти нулевой боковой подтрав проводников — не нужно специально объяснять, насколько это важно для плат с 75-микронной топологией.

После отмытки от травильного раствора, раздубливания (снятия) фоторезиста, финишной отмытки и сушки заготовки внутренних слоев практически готовы для комплектации в пакет многослойной платы. Если по какой-либо причине сборка пакета задерживается, то платы помещаются в шкаф сухого хранения. Впрочем, такое хранение необходимо и в ряде других случаев — нельзя, чтобы заготовки между операциями набирали влагу.

Чем отличается технология изготовления внутренних слоев МПП, в конструкции которых имеются межслойные переходы?

А. Сержантов: Работа с такими слоями начинается со сверления переходных отверстий. Точнее, со сверления технологических базовых отверстий и штифтования пакета для сверления рис 4, в который, помимо самой заготовки (заготовок), входят нижняя и верхняя накладки, основная функция которых — максимальное ограничение образования заусенцев при сверлении. Эта операция выполняется на машине Spinamatic, установленной вместе со сверлильными станками и другим оборудованием на механическом участке.

Для сверления, а также фрезерования участок оборудован двумя станками производства компании Posalux (Швейцария): трехшпиндельным 3600-LZ и универсальным сверлильно-фрезерным Ultraspeed Mono Combi рис 5. В модели 3600-LZ каждый из трех шпинделей установлен в отдельной станции, модель Ultraspeed Mono Combi имеет одну станцию, оборудованную двумя шпинделями — один для сверления, другой для фрезерования.



4
Сверху: станок Spinamatic для сверления двух базовых отверстий и штифтования. Производитель — компания VF (Италия). Снизу: установка EdgeCut компании Seetrex (Англия) для обработки кромок печатных плат

При диаметре площадки вокруг отверстия, равном 0,4 мм, сверление должно быть очень точным...

А. Сержантов: Оба станка Posalux относятся к категории прецизионных, причем лучших в своем классе: точность позиционирования у них составляет 5 мкм, повторяемость — 2 мкм. Но для практики решающую роль играет интегральный показатель — точность сверления, а на нее оказывает влияние такой фактор, как уход сверла в толще материала.

В платах высокого класса точности минимальный диаметр отверстия может доходить до 75 мкм. Но даже при диаметре 0,3 мм — том диаметре, который уже освоен в цехе, — сверло, наталкиваясь на стеклянные нити в толще базового материала, легко уходит в сторону, и единственный способ свести к минимуму этот эффект — повысить обороты шпинделя. У установленных здесь станков Posalux скорость вращения сверлильных шпинделей достигает до 250 тыс. оборотов в минуту, и, как результат, на них достигается очень высокая точность сверления: 12,5 мкм.

Кстати, столь высокая скорость вращения обуславливает необходимость отдельного шпинделя для фрезеро-



5
Прецизионные станки швейцарской компании Posalux: слева – скоростной трехшпиндельный (модель 3600-LZ); справа – комбинированный сверлильно-фрезерный (модель Ultraspeed Mono Combi)

вания. Для достижения таких оборотов в конструкции сверлильного шпинделя применен пневматический подшипник, а он плохо переносит боковые нагрузки, неизбежные при фрезеровании. Поэтому фрезеровательный шпиндель вращается в шариковом подшипнике, и его максимальная скорость ограничена величиной 60 тыс. оборотов в минуту — чего, впрочем, с избытком хватает для выполняемых им операций.

Станки также характеризуются высоким быстродействием — оно может достигать до четырех отверстий в секунду на каждый шпиндель. Достигается это применением линейных приводов, обеспечивающих очень высокие скорости перемещения по всем трем осям. По оси X движется станция, по оси Y — стол станка; и в той и в другой моделях скорости перемещения по этим осям могут достигать до 50 м/мин, а ускорения, развиваемые приводами, достигают до 15 м/с² по обеим осям. Для оси Z (вертикальное движение шпинделя) эти величины составляют 30 м/мин и 40 м/с² соответственно.

А если требуется просверлить глухое отверстие?

А. Сержантов: Для сверления отверстий на заданную глубину есть функция отсчета вертикального перемещения шпинделя от поверхности. Причем это может быть поверхность верхней накладки — тогда используется механический датчик касания; либо можно задать величину перемещения от фольгированной поверхности платы — здесь работает электрический датчик. Таким образом можно уйти от ошибок, вызываемых неровностями накладки. Точность контроля глубины

у этих станков составляет $\pm 12,5$ мкм, то есть, если у нас на внутреннем слое использована фольга толщиной 35 мкм, то сверло может остановиться непосредственно в меди.

Такая же функция контроля глубины реализована для операции фрезерования. Например, есть операция, называемая обнизовкой: когда какой-то элемент не помещается по высоте из-за плотной компоновки устройства, под него в плате надо сделать углубление — обнизить. Обнизовка производится на готовых платах, уже перед финальными испытаниями и сдачей продукции; если сделать ее раньше, на заготовках, то в ходе дальнейших операций углубление будет заматаллизовано.

Все три станции станка 3600-LZ работают по одной программе?

Д. Карпов: Да, по одной. Три шпинделя обрабатывают три заготовки, соответственно утраивая производительность на этом этапе технологической цепочки.

Хочу отметить еще одно преимущество этих станков. На оборудовании прежних поколений оператор мог заметить поломку сверла только после окончания всей процедуры сверления, увидев недосверленные отверстия или вообще отсутствие их в нужных местах. Станки Posalux оборудованы контрольной станцией с оптическим (лазерным) датчиком, которая проверяет не только целостность сверла, но и его геометрию — правильность заточки. Бракованный инструмент автоматически заменяется, для чего станки оборудованы евромагазинами на 154 инструмента (количество определено для инструментов диаметром 1/8").

Дальше наступает очередь металлизации отверстий?

А. Сержантов: Непосредственно после сверления необходимо очистить поверхность заготовки и удалить заусенцы — при всех предосторожностях при сверлении в каком-то виде они все равно могут быть. Эта операция производится на установке Unibloc_2.25.M итальянской фирмы Pola & Massa рис 6. После этого заготовка слоя попадает на двухрядную химико-гальваническую линию металлизации печатных плат PAL Galvour рис 7. Это самое лучшее оборудование такого назначения из всего, что сейчас поставляется в России. Конструкторы предусмотрели множество тонкостей, чтобы надежно достигался наилучший технический результат. Это регулируемые анодные диафрагмы — легко перемещаемые рамы с тканью, делящие процессную ванну на катодный и анодный отделы; они обеспечивают качественную фильтрацию раствора в анодном отделе процессной ванны. Это реверсно-импульсный источник питания гальванического процесса — он способствует более равномерному осаждению меди по площади платы. Это система полипропиленовых фиксаторов, поддерживающих заготовки снизу, удерживая их на нужном расстоянии от электродов при покачивании катодной штанги. Это специальные вибраторы, способствующие лучшей циркуляции раствора около поверхности заготовки и удалению воздуха из отверстий, что весьма актуально для отверстий малого диаметра и большой относительной глубины. И еще много всяких усовершенствований, вплоть до лазерной системы позиционирования транспортера.



Д. Карпов

Линия работает по программируемой циклограмме, рассчитана на загрузку — две подвески с заготовками 610 x 457 мм или четыре с заготовками 305 x 457 мм. Производительность, в соответствии с техническим заданием Концерна «Автоматика», — 1,5 м²/ч.

Первая операция, которую проходит заготовка на этой линии, — химическое осаждение меди и гальваническая затяжка до толщины 6–8 мкм на всей поверхности платы и по стенкам ее отверстий. После этого наступает черед нанесения фоторезиста, экспонирования, проявления — об этих процессах мы рассказали выше. Фоторезист негативный — там, где он присутствует, дальнейшего осаждения меди не будет. Заготовка возвращается на линию металлизации, и здесь производится гальваническое осаждение меди, в ходе которого ее слой наращивается до общей толщины 25 мкм от фольги на поверхности заготовки и в отверстиях.



6

Установка Pola & Massa Unibloc_2.25.M



7 Химико-гальваническая линия металлизации печатных плат PAL Galvour: слева – два конвейера линии; справа – шкаф управления с терминалом оператора

Последняя операция, проводимая на этой линии, — нанесение металлорезиста на свободную от фоторезиста поверхность меди. Металлорезист будет защищать токопроводящую структуру заготовки при травлении, а фоторезист снимается рис 8, и в процессе травления медь удаляется с заготовки. После травления производится удаление металлорезиста, далее следует заключительная отмывка и сушка, после чего процесс изготовления внутренних слоев с металлизированными отверстиями можно считать завершенным.

Как проверяется качество выполнения проводящего рисунка?

Д. Карпов: Такого рода проверки проводятся на участке межоперационного контроля. Один из основных инструментов здесь — автоматическая оптическая инспекция Discovery II 8200 израильской фирмы Orbotech рис 9. Установка может проверять как геометрию нанесения фоторезиста на медную поверхность, так и форму и размеры элементов проводящей структуры; она работает и по контрасту фоторезист-медь, и по контрасту медь-диэлектрик. В памяти машины задается эталонный рисунок, она сравнивает его с изображением видеокamеры и показывает оператору выявленные отклонения. Решение, квалифицировать отклонение как брак или допустить изделие в дальнейшее производство, принимает оператор. Заодно машина обучается у оператора идентифицировать дефекты.

А. Сержантов: При оптической инспекции важно не только найти ошибки, но и избежать ложных сигналов о них — пусть они не приводят сразу к выбраковке образца, но на уточняющий анализ будет потрачено много времени и труда. В Discovery применяется комбинированное освещение — синим и красным светодиодными источниками, наводимыми на объект под разными углами, — сводящее количество подобных ситуаций к минимуму.



Проводятся ли какие-то более сложные анализы?

Д. Карпов: На участке есть еще один прибор с большими контрольно-измерительными возможностями — флуоресцентный рентгеновский микроскоп SFT 9350 производства Seiko Instruments рис 10. Он позволяет определить толщину слоев металлизации и установить их химический состав. Микроскоп калибруется по эталонным образцам, их данные заносятся в память его компьютера и затем сравниваются с данными, полученными в ходе измерения. Работает быстро — замер одного участка занимает примерно 3 с. Получается неразрушающий экспресс-контроль со всей полнотой информации: геометрические параметры и химический состав. При необходимости можно запрограммировать трассу движения измерительной головки с несколькими точками контроля.



8 Линия снятия фоторезиста итальянской компании Pola & Massa



9 Автоматическая оптическая инспекция Discovery II 8200



10 Рентгеновский флуоресцентный микроскоп SFT 9350

А. Сержантов: Принцип действия: изучаемая зона облучается микродозой рентгеновских лучей, металл флуоресцирует, рентгеновские диоды принимают переизлученный сигнал, компьютер его обрабатывает. В результатах обработки мы видим, если говорить, например, о внешнем слое МПП с нанесенным финишным покрытием олово-свинец, толщину этого покрытия, процентное содержание олова и свинца, а также даже незначительные количества посторонних примесей, если, например, в покрытии растворилось какое-то количество меди.

Более того, флуоресцентный микроскоп может анализировать в одном замере и более сложные структуры. Например, в случае покрытия иммерсионным золотом он покажет и толщину золота на никеле, и толщину никеля на меди, и толщину меди на диэлектрике; всего ему доступно измерение структур, содержащих до пяти слоев материалов. Размер зоны исследования определяется коллиматором: чем тоньше луч, формируемый им, тем точнее прибор — но и дороже, конечно.

Внутренние слои платы готовы, внешние пока представляют собой просто нарезанные в размер листы базового материала или фольги. Что дальше?

Д. Карпов: После того, как внутренние слои подготовлены, наступает время сборки пакета для прессования. Это ответственная операция, здесь необходим 7-й класс чистоты по ГОСТ ИСО 14644-1, который можно охарактеризовать следующим требованием: не более 352 пылинок диаметром до 5 мкм на кубический дециметр объема помещения. Температура здесь должна выдерживаться на уровне 21 ± 1 °С, влажность — 55 ± 5 %. Поэтому пакет собирается на отдельном участке, который Остек оборудовал как гермозону, и одну из дверей тамбура нельзя открыть, не закрыв другую.

А. Сержантов: Просто собрать пакет из имеющихся заготовок нельзя. Во-первых, внутренние слои должны пройти подготовку поверхностей перед прессованием на специальной линии рис 11. Но главная проблема, когда речь идет о МПП высокой сложности и точности, — это свойство базового материала изменяться в размерах после прохождения различных процессов технологического цикла. В данном случае для нас важно изменение размеров внутренних слоев после операции травления. Опыт показывает, что самые лучшие диэлектрики имеют размерную нестабильность порядка 0,02 %, то есть примерно 100 мкм на длине 0,5 м — порядок размера нашей заготовки. Но вспомним требования к плате: диаметр площадки 0,4 мм, отверстия — 0,3 мм; то есть пояска вокруг отверстия будет иметь ширину 50 мкм при идеально точном попадании. А у нас усадка — 100 мкм! Если попытаться работать с такими отклонениями, то мы просто не сможем изготовить плату даже на лучшем диэлектрике — а ведь есть и менее качественные базовые материалы с нестабильностью 0,03 и даже 0,05 %.

Поэтому в технологический маршрут введены операции, которые мы называем усреднением погрешности, причем производятся они несколько раз, на разных этапах, разными способами и на разном оборудовании. Первый раз компенсацию изменения размера заготовки нам обеспечил Apollon-D1. Вторая операция такого рода в виде усреднения погрешности производится именно перед сборкой пакета для прессования.

Что такое усреднение погрешности перед прессованием?

А. Сержантов: Для этого используется автоматическая система совмещения Printprocess Targomat IV рис 12. Две камеры установки определяют расстояние между двумя реперными знаками на заготовке слоя МПП. Допустим, оно увеличилось по сравнению с указанным в докумен-



11 Конвейерная установка химической подготовки медной поверхности перед прессованием и нанесением паяльной маски с модулем сушки LD 610 TOP-BOND BO

тации на те самые 100 мкм. Тогда, если привязываться к одному реперу, другой «уйдет» на недопустимые 100 мкм. Поэтому в дальнейшем процессе привязка проводится не к реперам, а к так называемой идеальной базе — на производстве концерна «Автоматика» для заготовок стандартного типоразмера она принята равной 422 мм. Targomat располагает базу со сдвигом относительно исходного репера на половину увеличения размера; таким образом, при работе относительно этой базы погрешность в любой точке заготовки не превысит 50 мкм. Идеальная база выполняется в виде отверстий, которые Targomat засверливает с точностью позиционирования ± 2 мкм и повторяемостью 1 мкм. Производительность машины — 240 заготовок в час.

После сверления базовых отверстий на заготовках всех слоев пакета они подаются на еще одну машину



12 Автоматическая установка совмещения Targomat IV



13 Гидравлический вакуумный пресс LO 400-VK

фирмы Printprocess — установку сборки пакета МПП типа Rivolino. Вообще, для всех операций, связанных с точным базированием, мы выбрали оборудование этой компании. Мы уже упоминали весьма совершенную систему совмещения, которой оснащена другая машина Printprocess — установка прямого экспонирования Apollon-D1. И вот опять Printprocess. Это не случайно: системы совмещения — можно сказать, «конек» этой швейцарской фирмы.

Мы применили бесштифтовую технологию прессования, поэтому далее пакет скрепляется по технологическому полю заклепками; сдвиг слоев при этом не превышает 10 мкм. Теперь нужно поместить пакет в пресс-форму, что происходит на линии сборки-разборки пресс-форм. На нижнюю плиту пресс-формы укладывается сначала термобуфер — он нужен для выравнивания температуры и давления — затем фольга, потом слой препрега, далее следует скрепленный пакет, сверху — опять препрег, фольга и термобуфер. Все это через прокладочные листы зажимается в пресс-форме и теперь уже уходит на пресс.

Почему выбран пресс именно этого типа?

Д. Карпов: Четырехэтажный гидравлический вакуумный пресс LO 400-VK рис 13 — одна из моделей линейки прессов германской фирмы HML, специально разработанных для выполнения операции прессования МПП. Применение вакуума уменьшает зависимость процесса

от текучести препрега и способствует удалению летучих веществ и, следовательно, лучшему заполнению смолой внутренних пустот, то есть получению более прочной конструкции МПП. Вообще же продукция HML характеризуется хорошим соотношением «цена — качество — производительность». А конкретная модель определилась нужной нам этажностью и габаритами нагревательных плит — их размер 660 x 810 мм хорошо соответствует заготовке нашего унифицированного типоразмера.

А. Сержантов: Важное условие для успешного прессования — точная загрузка, симметричная по всем координатам. При прессовании на пакет действует усилие 25 т — можно себе представить, какой эффект получится при малейшем перекосе. Мало того, что загубим пакет — загубим плиты пресса. Поэтому — жесткое условие: непараллельность плит не должна превышать 20 мкм. Кстати, для точного назначения параметров режима прессования нужно знать параметры применяемой партии базового материала — текучесть, время гелеобразования и т. д. В комплекте оборудования цеха предусмотрен небольшой лабораторный пресс для их определения.

По окончании прессования на заготовке МПП производится операция сверления сквозных переходных отверстий.



14 Targomil - установка для вскрытия реперных знаков

На сверлильный станок пакет поступает прямо с пресса?

Д. Карпов: Пакет извлекается из пресс-формы и уходит на участок механической обработки. Уходит через шлюз — в помещении, где производится сверление и фрезерование, класс чистоты не должен и не может быть столь же высоким, как в зоне сборки-разборки пакета.

На участке механической обработки прежде всего выполняется обрезка кромок пакета, в ходе которой удаляются технологические поля вместе с облоем и заклепками. Затем наступает очередь еще одной процедуры усреднения погрешностей — ведь в процессе прессования пакет опять меняется в размерах, возможны сдвиги слоев вследствие усадки. Здесь опять задействуется Targomat IV. Но сначала нужно вскрыть реперные знаки — вспомним, что наружные слои МПП еще полностью покрыты фольгой. Эта операция проводится на установке Targomil также производства фирмы Printprocess рис 14. Оснащенная двумя шпинделями, верхним и нижним, установка осуществляет фрезерование на заданную глубину с точностью 50 мкм.

А. Сержантов: Установка совмещения Targomat IV способна «видеть» не только в отраженном свете, но и на просвет. Таким образом, она может фиксировать реперные знаки одновременно в нескольких слоях МПП. К тому же в установленном здесь образце реализована опция Optima test. Используя отфрезерованные по углам отверстия, она позволяет точно измерить усадку всей заготовки и каждого слоя в отдельности и величину рассовмещения слоев. По полученной информации Targomat высверливает новые отверстия идеальной базы, располагая ее с учетом выявленных размерных отклонений. Кроме того, эта информация может быть использована для корректировки программы сверления. Такой тест проводится, как правило, для первой партии плат новой конструкции (с новым десятичным номером) и при поступлении в производство новой партии базового материала. В случае особо сложных плат 5-го и более высоких классов тест надо проводить для каждой заготовки.

МПП с просверленными отверстиями новой идеальной базы собирается в пакет для сверления, штифтуется на установке Pinning Twin рис 15 и устанавливается на сверлильный станок — тот же, который используется при сверлении внутренних слоев с межслойными переходами. После сверления производится расштифтовка сверлильного пакета для его разборки.



15 Pinning Twin – установка одновременного штифтования двух отверстий в пакете печатных плат. Производитель: VF (Италия)

Чем отличается дальнейший маршрут МПП от последовательности операций, производимых при изготовлении внутренних слоев с межслойными переходами?

Д. Карпов: В части химико-гальванических операций эти два процесса очень похожи. Производится механическая очистка поверхности и удаление заусенцев; химическое меднение и гальваническая затяжка; фотолитография внешних слоев: нанесение фоторезиста,

экспонирование, проявление; гальваническое осаждение меди с последующим нанесением металлорезиста; травление; снятие металлорезиста; отмывка и сушка.

А дальше начинаются отличия. Во-первых, все платы — а на данном этапе это уже практически готовая МПП — проходят электрическое тестирование: контроль сопротивления проводников и сопротивления изоляции между ними. Оно выполняется на установке ELX6146 фирмы MicroCraft (Япония), представляющей собой тестер с «летающими щупами». Установка оснащена высокоточным прибором для контроля низкоомных сопротивлений и двухзондовыми пробниками, что позволяет контролировать сопротивления металлизированных отверстий и печатных проводников.

Далее надо подготовить плату к пайке компонентов, для чего нанести на нее паяльную маску и финишное покрытие. Порядок этих двух операций определяется типом финишного покрытия. На предприятии приняты два типа: горячее облуживание и иммерсионное золочение.

Облуживание производится припоем ПОС-63 на установке Quicksilver компании Semco рис 16, в которой реализован классический HASL-процесс с горячими воздушными ножами. Quicksilver — лучшее по качеству оборудование этого класса из всего, что поставляется в Россию. К тому же оно очень удобно в эксплуатации и обслуживании.

На линии Pre-Hall осуществляется микротравление меди и флюсование, на линии Post-Hall — охлаждение и отмывка от флюса.

А. Сержантов: Стоит отметить одну важную тонкость: перед облуживанием МПП необходимо хорошо высушить. Если в ней останется влага, то МПП может быть просто разорвана образовавшимся при облуживании паром. Платы сушатся в специальных шкафах, и у технологов существует незыблемое правило: сушка и облуживание — в одну смену.



16 Участок горячего облуживания. Слева: установка горячего облуживания Quicksilver; справа: весь комплект оборудования, на переднем плане линия подготовки к облуживанию Pre-Hall (правая) и линия заключительных операций Post-Hall (левая)

Д. Карпов: Для иммерсионного золочения имеется компактная установка Comtracta 40 2Cu немецкой компании Bungard Elektronik рис 17. А нанесение защитной паяльной маски производится на установке струйно-факельного нанесения типа all4 PCB швейцарской фирмы all4 PCB с буферным накопителем, оснащенный модулем переворота обрабатываемых плат. Нанесенная в жидком состоянии защитная паяльная маска подсушивается, затем экспонируется на той же установке прямого экспонирования Apollon-D1 и проявляется на еще одной линии Frezer Style.

После отмычки и просушки МПП уже физически готова к монтажу, но на нее надо еще нанести границы расположения компонентов, их позиционные обозначения, названия, маркеры 1-го вывода или полярности; идентификаторы платы — десятичный номер, может быть, заводской номер, может быть, штрихкод или баркод и т. д.

Эта работа выполняется автоматическим маркировщиком Orbotech Sprint 100 рис 18. По существу, эта машина представляет собой специализированный каплеструйный принтер. Специализация выражается, например, в том, что машина сама находит базы. Оператору достаточно просто положить плату в угол рабочей зоны, и через несколько секунд плата выходит с готовой маркировкой. Разрешение принтера, равное 720/1440 точек на дюйм, позволяет наносить линии с минимальной шириной 0,2 мм в обычном режиме и 0,1 мм в режиме высокой точности; минимальная высота текста при этом составляет 0,9 и 0,5 мм соответственно.

Последняя операция в цехе — финальное электрическое тестирование на установке с «летающими щупами», после чего плата уходит в отдел технического контроля.

Как вам видится перспектива дальнейшего развития производства печатных плат в концерне «Автоматика»?

А. Сержантов: Если говорить о локальных планах, то имеются намерения по приобретению ряда единиц нового оборудования. Так, используемая модель тестера с «летающими щупами» уже довольно старая, и мы должны поставить две новых установки этого назначения. Одна из них будет способна, используя метод вихревых токов, измерять сопротивление металлизированных переходных отверстий с такой точностью, что можно будет определять толщину меди на их стенках.

Собираемся приобрести установку PerFix Automated Optical Repair компании Orbotech для устранения коротких замыканий и излишков меди на слоях печатных плат — с ее помощью возможно устранять дефекты, которые не поддаются ручному ремонту. Ждем выхода автоматического маркировщика с новыми возможностями: перед маркировкой он сам будет наносить паяльную маску по рисунку проводящей структуры.



17 Установка струйно-факельного нанесения защитной паяльной маски KU 453 швейцарской фирмы all4 PCB

Если же говорить о планах более общих, то в них мы закладываем принципиальное расширение возможностей производства. Сейчас цех оборудован для выполнения полного цикла работ по изготовлению многослойных печатных плат высокого уровня сложности. А мы со специалистами концерна прорабатываем стратегию модернизации, в результате которой можно будет производить и гибко-жесткие печатные платы, и гибридные МПП. А еще можно сказать, что технология металлизации сквозных отверстий, по которой сейчас работает цех, уже становится пройденным этапом, и мы просматриваем возможности перехода к тому, что идет ей на смену, — к технологии послойного наращивания. Интересно, что именно по этой технологии в Советском Союзе были изготовлены первые МПП, и вот теперь спираль замыкается — разумеется, на новом уровне. Что ж, у технического прогресса свои законы... ▢



18 Автоматический маркировщик Orbotech Sprint 100

КАЧЕСТВО

Одноклавишное измерение фазовых шумов в импульсном режиме AnaPico PNA

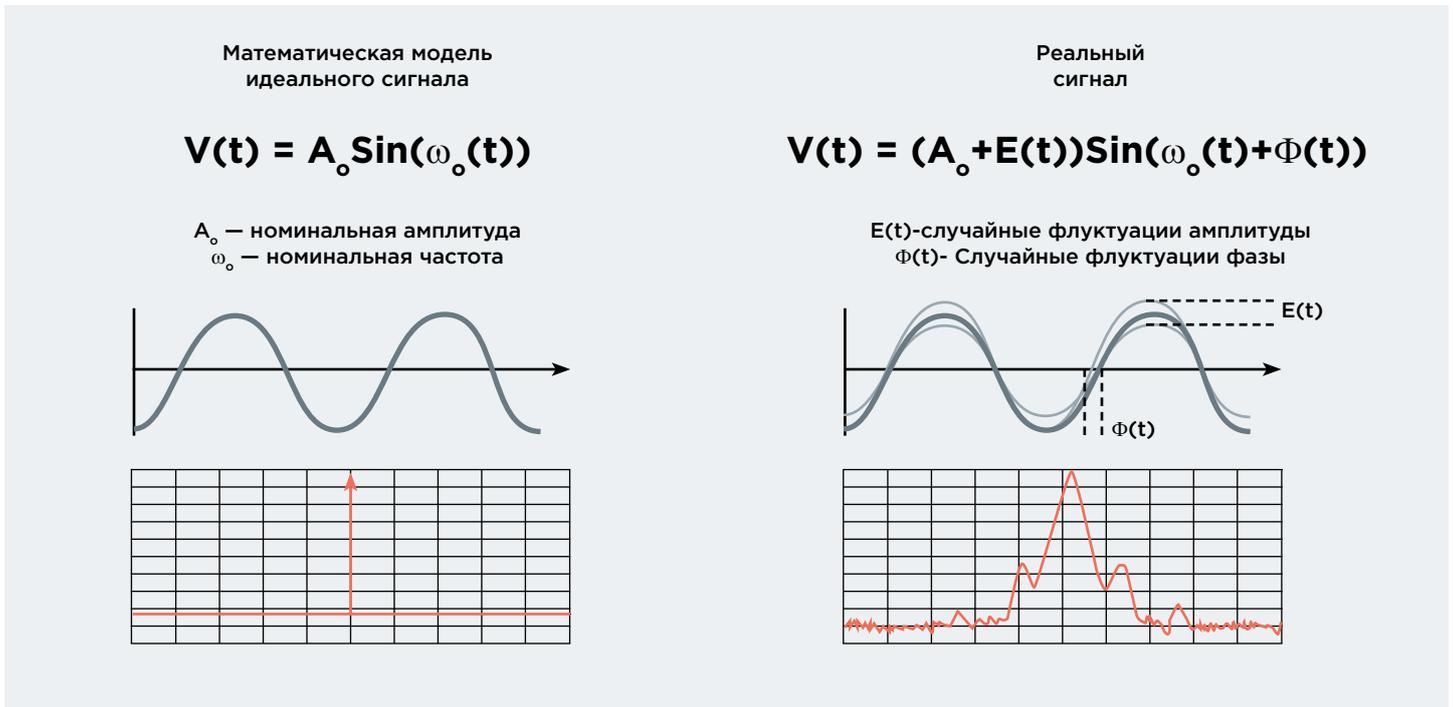


Текст: Арсений Подолько

Уровень фазовых шумов является критическим параметром источников сигнала, анализаторов сигнала и компонентов ВЧ- и СВЧ-устройств. Согласно ГОСТ 23769-79 «Приборы электронные и устройства защитные СВЧ. Термины, определения и буквенные обозначения» фазовый шум СВЧ-прибора — это одна из составляющих шума устройства, обусловленная изменениями фаз выходного сигнала. Институт инженеров электротехники и электроники IEEE дает следующее определение фазового шума: $L(f) = S\phi(f)/2$, т.е. фазовый шум равен половине спектральной плотности мощности нестабильности фазы. Оба определения наглядно демонстрируют, что фазовый шум имеет сложную природу: проявляется во временной области в виде нестабильности фазы сигнала (джиттер) и в частотной области.

На рис. 1 приведены изображения реального сигнала и математической модели идеального сигнала; видно, что случайная флуктуация фазы гармонического сигнала во временной области приводит к появлению спектральной плотности мощности шума симметрично относительно частоты несущей.

Особенно жесткие требования к уровню фазовых шумов предъявляются в системах оборонной и аэрокосмической промышленности. Например, в радиолокационных приложениях: чем ниже уровень фазового шума, тем точнее результаты измерения скорости движущихся целей и выше пространственное разрешение объектов.



1 Реальный сигнал и математическая модель идеального сигнала. Флуктуации фазы сигнала приводят к появлению спектральной плотности мощности фазового шума

Методы измерения фазовых шумов

Термин «фазовый шум» ранее в СССР и России не использовался, у него было другое название — «спектральная плотность флуктуации фазы».

Согласно ГОСТ 202711.1.-91 «Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров» измерения фазовых шумов регламентируются как измерения относительной плотности флуктуации амплитуды, частоты, фазы (раздел 11). В качестве аппаратуры для измерения фазовых шумов предлагается использовать измеритель флуктуации. В то же время на сайте Росстандарта не представлено ни одного измерителя флуктуации с действующим сроком свидетельства. Получается, что критический параметр качества сигнала для оборонной и аэрокосмической промышленности не измерялся, поскольку не было аппаратуры, внесенной в единый реестр средств измерений с действующим сертификатом. Более того, существующие ранее измерители флуктуации не смогут обеспечивать требования приложений РЛС настоящего времени.

Рассмотрим возможные способы измерения фазовых шумов, используемые сегодня.

Методы измерения фазовых шумов

На настоящий момент существуют три наиболее распространенных метода измерения фазовых шумов:

- прямое измерение на анализаторе спектра,
- метод фазового детектора,
- метод двухканальной кросс-корреляции.

Для задач оборонной и аэрокосмической промышленности может быть использован только метод двухканальной кросскорреляции. Метод прямого измерения спектра не позволяет отделить амплитудный шум от фазового, кроме того, чувствительность измерений ограничена шумами гетеродина. Метод измерения фазовых шумов через фазовый детектор позволяет измерять фазовые шумы только при малых отстройках от несущей; в результате, нет полной картины спектра сигнала, также для этого метода требуется трудоемкая процедура калибровки.

Инновационным решением стало предложение компании AnaPico: анализаторы фазовых шумов AnaPico обладают лучшими в классе характеристиками чувствительности, могут измерять фазовые шумы в импульсном режиме при разном периоде, ширине импульсов и все это — нажатием одной клавиши.

Измерители фазовых шумов AnaPico

Измерители фазовых шумов AnaPico представлены следующими моделями:

- AnaPico PNA7.
- AnaPico PNA20.
- AnaPico PNA40 (дата выхода IV квартал 2016 года).

Возможности приборов:

- измерение абсолютных и вносимых фазовых шумов;
- измерение абсолютных и вносимых фазовых шумов в импульсном режиме;
- измерение фазовых шумов в импульсном режиме при изменяющемся периоде и ширине импульсов;
- кросс-корреляционная обработка;
- одновременное измерение фазовых и амплитудных шумов;
- встроенный тестер ГУН;
- проведение испытаний в автоматическом режиме.

Принцип действия приборов основан на методе кросс-корреляции. В приборе установлены два независимых приемника прямого преобразования с последующей кросс-корреляционной обработкой. Тепловые шумы приемника и шумы опорного генератора не когерентны, поэтому кросс-корреляционная обработка уменьшает их влияние на результат измерения, что обеспечивает их высокую чувствительность.

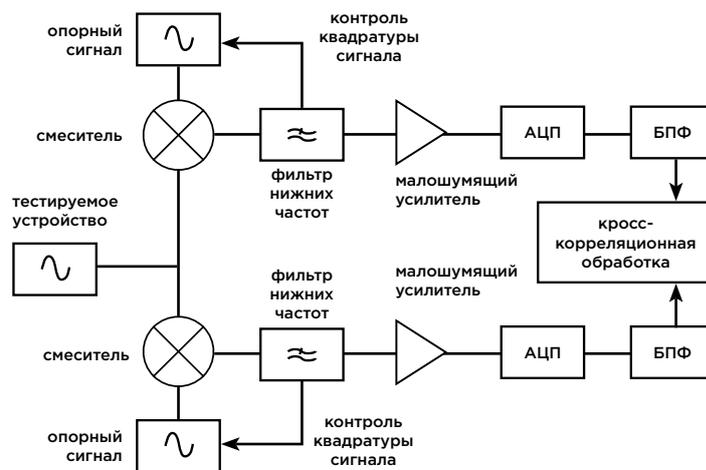
Функциональные возможности данных приборов подкреплены следующими техническими характеристиками **Т 1**.

Т 1

Технические характеристики анализаторов фазовых шумов AnaPico

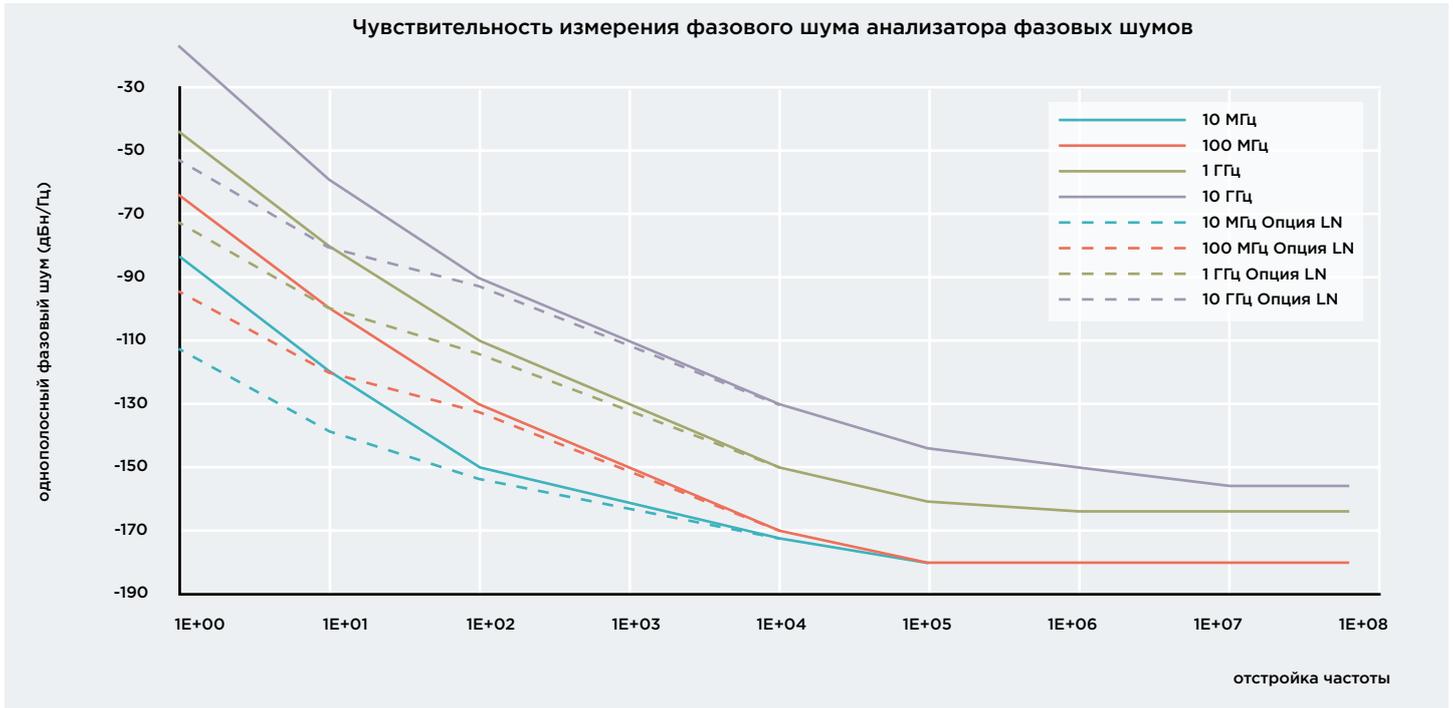
Модель	PNA7	PNA20	PNA40
Диапазон частот	5 МГц до 7 ГГц	5 МГц до 26 ГГц	5 МГц до 40 ГГц
Диапазон отстройки частоты	0,01 Гц до 50 МГц	0,01 Гц до 50/100 МГц	0,01 Гц до 100 МГц
Чувствительность на частоте 1 ГГц, отстройка 1 Гц	-140 дБм	-140 дБм	-140 дБм
Отстройка 10 Гц	-150 дБм	-150 дБм	-150 дБм
Отстройка 1 кГц	-175 дБм	-175 дБм	-175 дБм
Отстройка 10 кГц	-185 дБм	-185 дБм	-185 дБм
Отстройка 10 МГц	-185 дБм	-185 дБм	-185 дБм
Скорость измерения (ATE, 1 кГц, 1 корреляция)	150 мс	150 мс	150 мс
Допустимый диапазон входной мощности	-15 до +20 дБм	-15 до +20 дБм	-15 до +20 дБм
Погрешность измерения <100 Гц	< 3 дБ	< 3 дБ	< 3 дБ
Погрешность измерения >100 Гц	< 2 дБ	< 2 дБ	< 2 дБ
Вес	10 кг	10 кг	10 кг
Гарантия	5 лет	5 лет	5 лет

AnaPico — швейцарская компания со штаб-квартирой в городе Цюрихе. Производство и тестирование оборудования полностью происходят в Швейцарии. Высокие стандарты качества позволяют достигать конкурентоспособных характеристик приборов в сочетании с высокой надежностью и производительностью. Как знак подтверждения надежности швейцарского оборудования на все приборы AnaPico предоставляется 5-летняя гарантия.



2

Упрощенная блок-диаграмма принципа работы анализатора фазовых шумов AnaPico PNA



3 Чувствительность измерения фазового шума анализатора фазовых шумов AnaPico PNA20

Измерение фазового и амплитудного шумов с высокой чувствительностью

Измерители фазовых шумов AnaPico PNA могут работать, используя внутренний опорный сигнал или внешний опорный сигнал. Доступно несколько вариантов исполнения внутреннего опорного источника сигнала: базовый источник сигнала и источник с ультразвуковым уровнем фазовых шумов (опция LN). Опция LN значительно улучшает чувствительность прибора.

На рис. 3 представлены графики чувствительности измерения фазового шума (дБн/Гц) после одной корреляции, время выполнения измерений — 25 с. Увеличение числа корреляций может дополнительно улучшить чувствительность, но при этом время на выполнение измерений увеличится (Т 2).

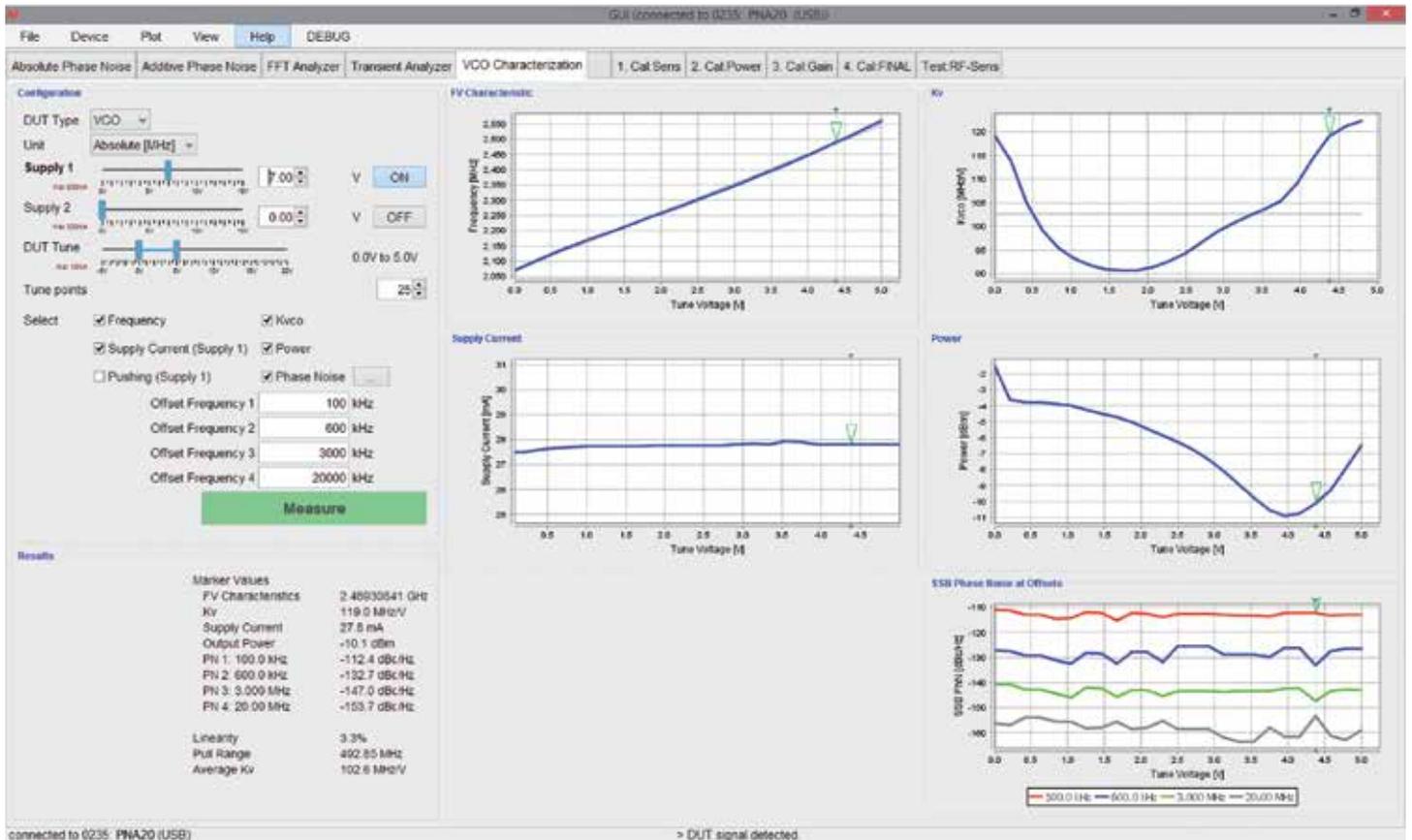
Кроме того, измерители фазовых шумов AnaPico PNA поддерживают возможность измерения амплитудного шума методом кросс-корреляции, что значительно упрощает процесс измерения. Ранее для этого составлялись сложные схемы с амплитудными детекторами, которые требовали усилий при калибровке. Амплитудный шум является важной характеристикой при измерении фазового шума, поскольку ограничивает чувствительность измерения фазового шума, а фазовый детектор исключает влияние амплитудного шума частично.

Измерение фазового шума импульсных сигналов одним нажатием кнопки

Как уже было показано, фазовый шум импульсного сигнала в радиолокационных приложениях является одним из источников погрешности измерения скорости сигнала; кроме того, чем ниже уровень фазового шума, тем выше пространственное разрешение у РЛС. Подобные задачи ранее решались построением системы из тестируемого устройства, генератора импульсов, импульсного модулятора и БПФ анализатора (осциллографа); далее требовалась сложная калибровка системы, на одно измерение уходило до 30 минут. Сейчас эти операции выполняются нажатием одной кнопки, существенно сокращая время, затрачиваемое на измерение. Прибор AnaPico распознает и записывает импульсный сигнал и вычисляет все параметры импульса (в т.ч. ширину и скважность). Затем анализатор демодулирует сигнал и вычисляет фазовый шум.

Т 2 Технические характеристики анализаторов фазовых шумов AnaPico

Число корреляции	10	10	15
Улучшение чувствительности, дБ	5	100	1000



5

Измерение вносимых фазовых шумов

Измерение вносимого фазового шума сигнала несущей и импульсных сигналов

Для повышения производительности системы РЛС необходимо учитывать также вносимый фазовый шум компонентов системы, усилителей, делителей и умножителей частоты. Ранее вносимые фазовые шумы измерялись редко. В первую очередь, это было связано с высокой стоимостью систем и трудоемким выполнением измерений. Поэтому построение радиоприемного/радиопередающего устройства строилось с учетом коэффициента шума его модулей с последующим пересчетом коэффициента шума всей системы. Но измерения коэффициента шума недостаточно, потому что он не раскрывает информацию о вносимых шумах усилителя при работе в разных режимах (работа

до точки 1 дБ компрессии, работа в режиме компрессии), кроме того, коэффициент шума не раскрывает информацию о шуме вблизи несущей частоты. Вносимый фазовый шум усилителя напрямую связан с коэффициентом шума в режиме малых сигналов; в режиме больших сигналов, когда мощность входного сигнала близка к точке 1 дБ компрессии, другие аспекты приобретают доминирующее значение. Фликкер-шум, дробовый шум, пульсации напряжения питания могут вносить гораздо большее значение шумов в систему, чем это учитывается изначально при измерении коэффициента шума. Некоторые усилители обладают скачкообразным приростом шумов в точке компрессии, тогда как другие демонстрируют устойчивое значение. Только измерение вносимых фазовых шумов может точно определить источники шума в системе.

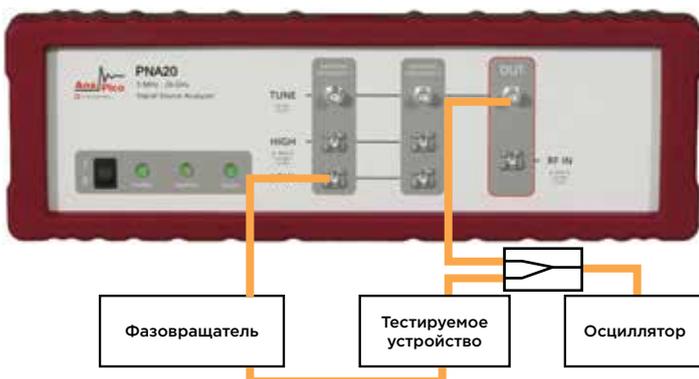
На рис. 4 представлена схема проведения измерений вносимых фазовых шумов: так как анализатор фазовых шумов работает по принципу кросс-корреляции, фазовый шум, вносимый внутренними компонентами анализатора, подавляется. Таким образом, анализатор фазовых шумов AnaPico PNA способен проводить измерения вносимых фазовых шумов импульсных сигналов.

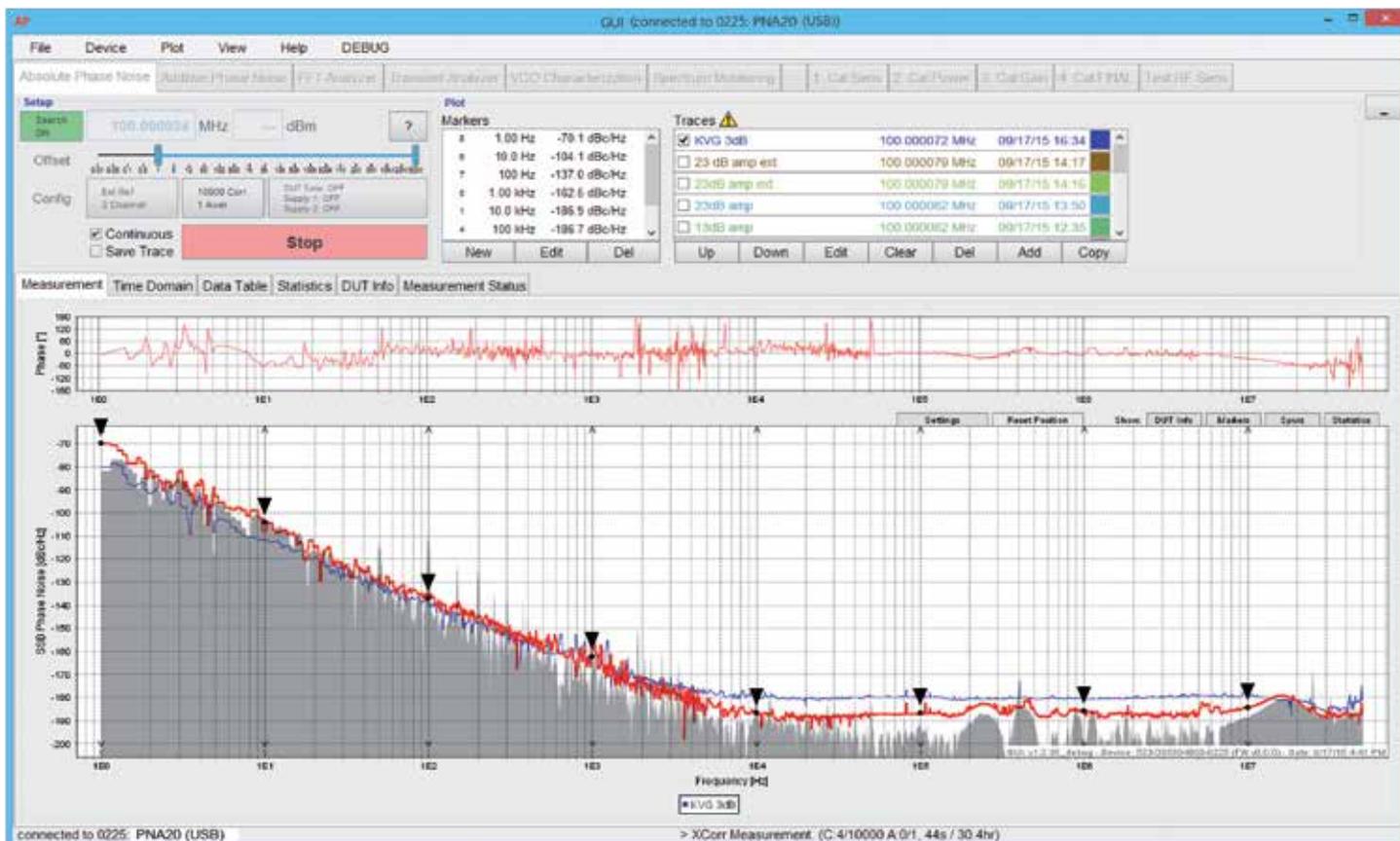
Встроенный тестер ГУН

Для тестирования ГУН и других приборов, управляемых напряжением, анализатор PNA использует собственный источник питания, обладающий очень низким уровнем шумов. Это позволяет измерять такие параметры, как

4

Измерение вносимых фазовых шумов с помощью анализатора фазовых шумов AnaPico PNA





6 Интерфейс пользователя

крутизна перестройки частоты, выходная мощность, потребление тока, фазовый шум или влияние источника питания на работу ГУН.

Автоматизация измерений

Высокопроизводительная вычислительная электроника делает этот инструмент идеальным для применения в автоматизированных измерениях. Время, затрачиваемое на измерения, сочетается с высокой повторяемостью результатов и точностью. Исчерпывающий набор SCPI-команд вкупе с API-библиотеками позволяют интегрировать прибор в уже существующие измерительные комплексы.

Интуитивный графический интерфейс пользователя

Главное окно пользовательского интерфейса представляет собой панель управления анализатором фазовых шумов. Вкладки расположены в логическом порядке. Будучи полностью автоматизированным, анализатор готов проводить измерения по нажатию кнопки START, как только исследуемое устройство будет подключено к прибору. Доступ к различным режимам измерения через вкладки и подменю позволяет пользователю быстро настроить прибор под свои актуальные задачи.

Заключение

Анализатор фазовых шумов AnaPico — это комплексное решение по измерению фазовых шумов и измерению параметров источников сигнала. Отличительная особенность прибора — способность проводить измерения абсолютных и вносимых фазовых шумов в импульсном режиме, что так необходимо в задачах тестирования приемопередающих модулей РЛС и ее отдельных компонентов. Кроме того, анализатор фазовых шумов AnaPico PNA может проводить измерения в импульсном режиме даже при изменяющихся длительности или периоде сигнала. Удобный графический интерфейс пользователя позволяет выполнять все измерения одним нажатием кнопки.

Производитель AnaPico не ограничивается только разработкой измерителей фазовых шумов, полная линейка продуктов представлена следующими приборами:

- Анализаторы фазовых шумов.
- Одноканальный и многоканальный генераторы сигналов СВЧ.
- Синтезаторы частот.

На Международной выставке ЭлектронТехЭкспо-2016 состоялось подписание дистрибьюторского договора между компаниями Anapico Ltd и ООО «Остек-Электро».

Специалисты Остек-Электро готовы провести для вас демонстрацию оборудования AnaPico и ответить на все вопросы. Подробная информация: ostelectro@ostec-group.ru. 

Передовые технологии для контроля качества. Компьютерная томография



Текст: **Павел Косушкин**



Компьютерная томография (КТ) позволяет обнаруживать и измерять трехмерные микроскопические низкоконтрастные дефекты — трещины, поры и раковины, контролировать геометрические параметры изделий — линейные и угловые размеры, а также проводить полный анализ отклонений формы от эталонной модели.



1
Томограф v|tome|x m300

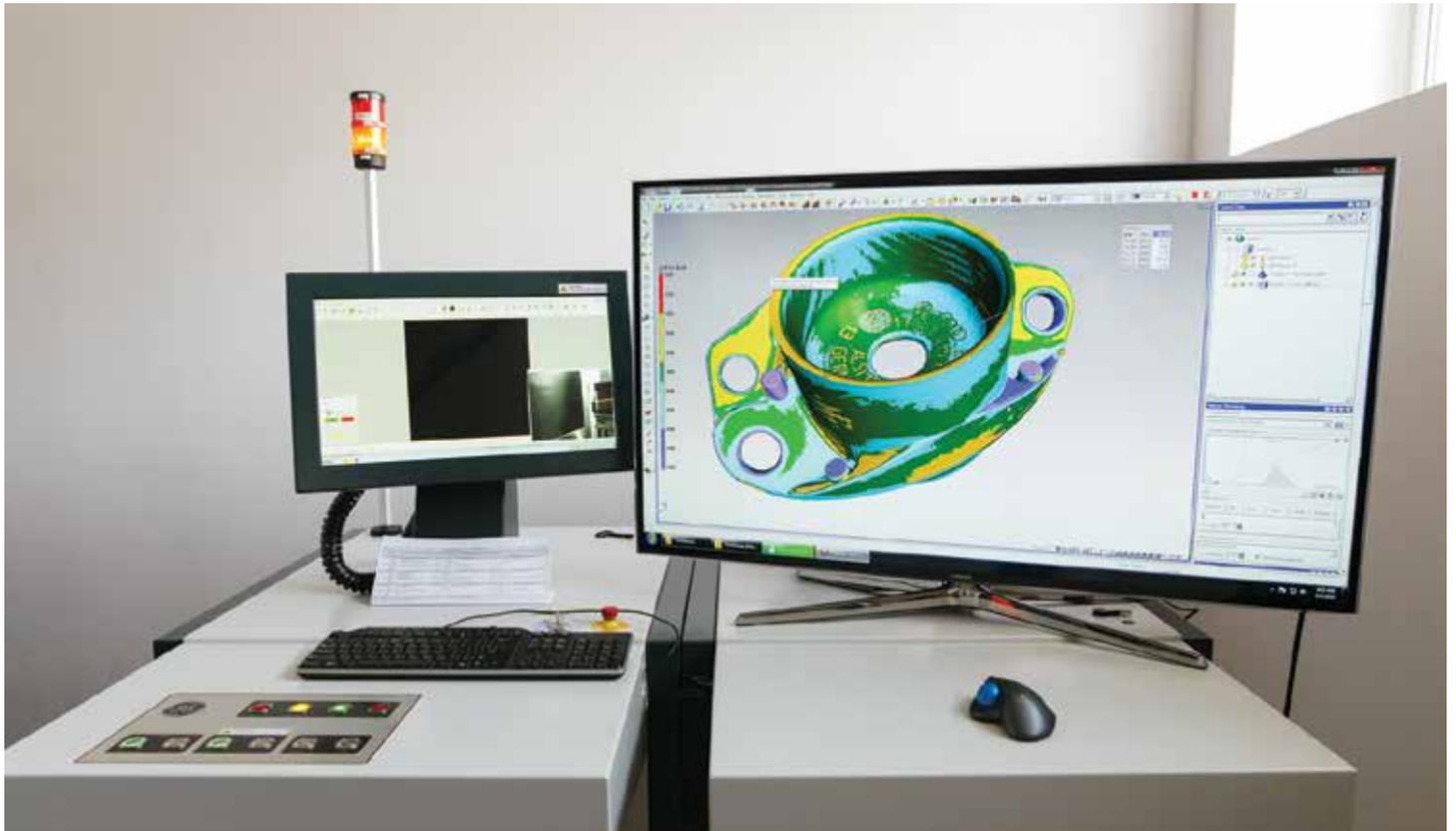
В лаборатории промышленной томографии Группы компаний Остек представлен самый современный в России и Восточной Европе комплекс оборудования для промышленной томографии производства компании General Electric, позволяющий решать широкий спектр задач в сфере промышленного контроля качества и измерений, такие как:

- контроль качества литья, форм и механических деталей, в том числе полученных аддитивными методами;
- визуализация и анализ пустот и включений;
- контроль печатных плат и электронных компонентов;
- анализ деформации и износа деталей;
- исследование структуры материалов, в том числе композитных;
- обратное проектирование и др.

В лаборатории проводятся работы по исследованию различных образцов и изделий для сфер авиастроения, машиностроения, нефтегазовой отрасли и др. О том, как контролировать внутренности изделий, не разрушая их, своим заказчикам лаборатория уже неоднократно давала ответы успешно выполненными работами.



2
Крышка картера, установленная в томограф v|tome|x s450 для исследований внутренних пустот



3 Анализ литейной заготовки в специальном программном обеспечении VGStudioMax



4 2D-исследование крышки картера в рентгеновской установке X-Cube XL 225 на наличие внутренних трещин и пустот

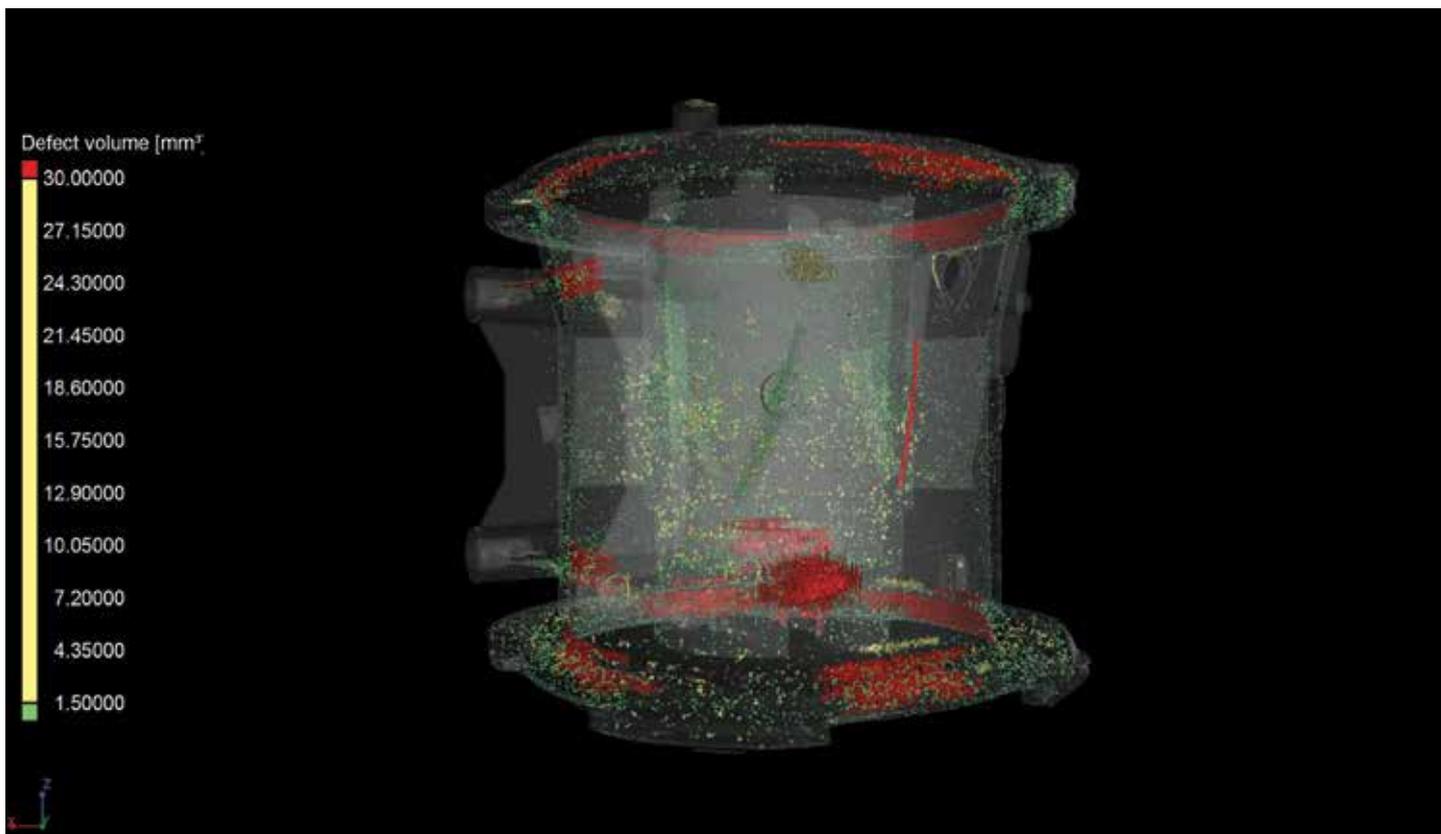
Контроль качества литья. Анализ и визуализация пор и пустот

Предприятиям, производящим продукцию ответственного назначения, необходимо контролировать качество изготовления литейных заготовок на производстве. Одно из них обратилось в лабораторию промышленной томографии Остека для проведения 3D-рентгеновского контроля с целью выявления скрытых дефектов и оценки качества изготовления изделия.

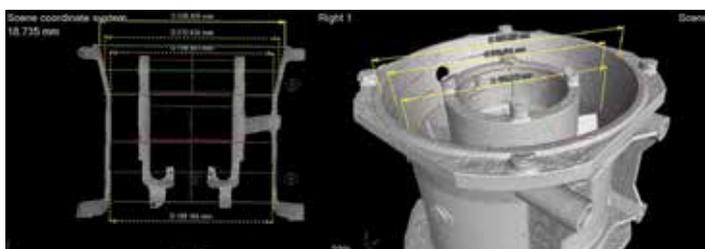
Образец для сканирования — алюминиевая отливка размером 250 x 300 мм с максимальной толщиной стенки 170 мм. Исследования проводились в томографической установке v|tome|x s450.



5 Общая 3D-модель изделия с сечениями по трем осям координат (томографические срезы)



6 Объемная модель изделия в полупрозрачном представлении с анализом распределения пустот внутри образца



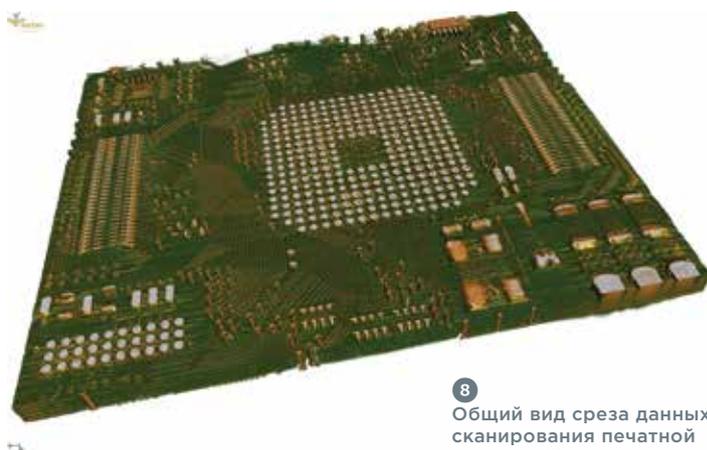
7 Проведение измерений определенных геометрических параметров изделия

3D-исследование печатных плат и электронных компонентов

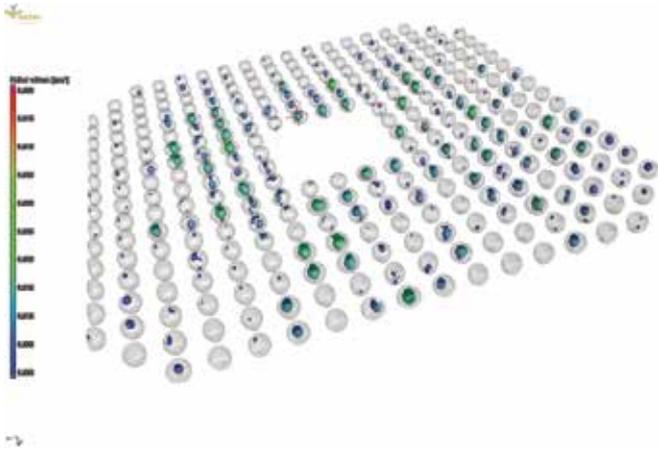
Все больше предприятий используют неразрушающий контроль качества пайки электронных компонентов с помощью рентген-установок. Однако 2D-исследования не всегда бывают информативными, например, при исследовании печатных плат или пайки компонентов, где невозможно отделить один слой от другого и дать всю

Общее время работы — порядка 4 часов. Из них 2 часа заняло сканирование изделия (подготовка к работе, создание множественного количества рентген-снимков, реконструкция данных для создания 3D-модели изделия) и еще 2 часа — создание подробного отчета об исследованиях в формате PDF с описанием анализа пор и пустот и измерения всей необходимой геометрии.

Ни один способ неразрушающего контроля не даст такого подробного анализа качества изготовления изделий, как технология компьютерной томографии.

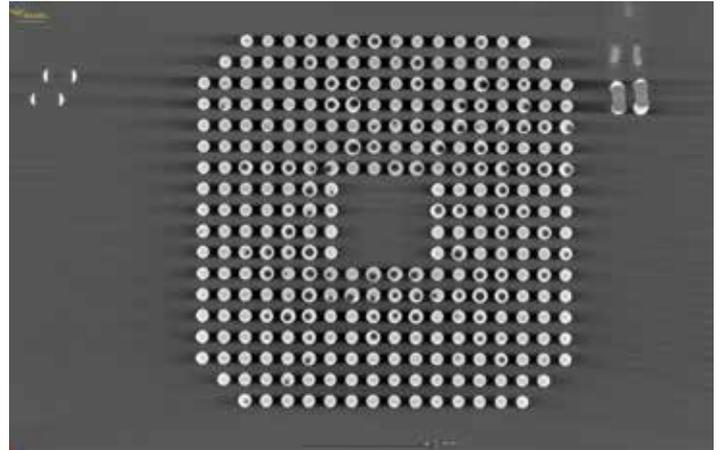


8 Общий вид среза данных сканирования печатной платы в 3D



9

Анализ пустот паяных соединений компонентов BGA с помощью VGStudioMax



10

Томографический срез выводов микросхемы BGA

необходимую информацию об изделии. Именно поэтому наши клиенты обращаются в лабораторию промышленной томографии, чтобы получить полную картину при исследованиях.

Общее время выполнения работы составило 2 часа. За это время было проведено сканирование печатной платы и создание отчета об исследованиях в формате PDF по стандарту IPC.

Проводя 3D-исследования печатных узлов и электронных компонентов можно проанализировать качество пайки и других соединений электронных компонентов во всем объеме, что позволяет гораздо лучше определить возможные дефекты, наладить технологический процесс и гарантировать качество изготовления на производстве.

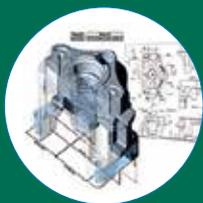
Подробная информация на сайте www.ostec-ct.ru. 

Проведение исследований в лаборатории промышленной томографии Остека — это уникальная возможность, которая позволяет использовать самые передовые инструменты контроля качества и измерения, не прибегая к дорогостоящим инвестициям.



Литье

- Отработка технологии литья
- Поиск и анализ пустот, раковин и включений



Механообработка

- Контроль качества геометрии ответственных деталей сложной формы
- Обратное проектирование



Электроника

- Контроль печатных плат, компонентов и качества пайки
- Исследование совмещения слоев, дефектов металлизации



Материаловедение

- Исследования внутренней структуры материалов
- Расчет физических свойств материалов



Исследования

- Полезные ископаемые и геологические образцы
- Принципы работы механизмов
- Криминалистика

Лаборатория промышленной томографии: экспертный контроль качества и проведение исследований

Узнайте о специальных
ценах, действующих
до конца ноября 2016 года!

- Самая крупная в Восточной Европе
- Оснащенная передовым оборудованием

Лаборатория создана на базе Центра технологий контроля (ЦТК), предназначенного для решения широкого спектра производственных и научных задач.



будущее
создается



Channel Partner
GE Oil & Gas



www.ostec-ct.ru
(495) 788 44 41
info@ostec-ct.ru



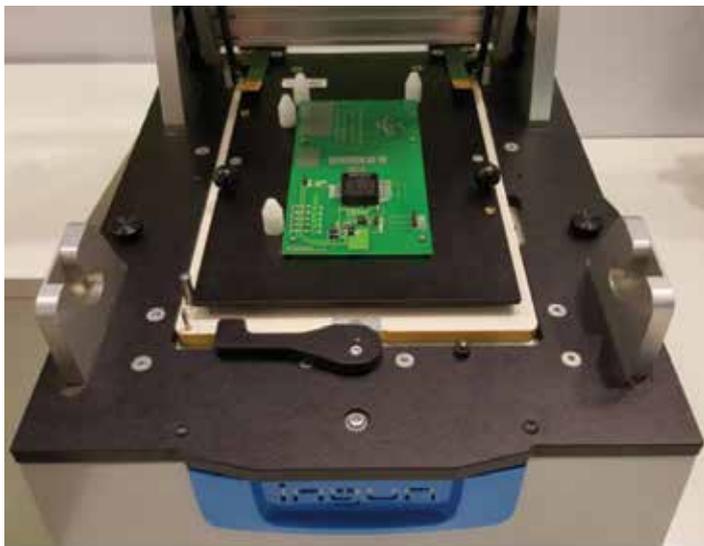
ОПТИМИЗАЦИЯ

Входной контроль ПЛИС: комплексный подход простыми словами



Текст: Арсений Ликий

Для снижения процента брака выпускаемых изделий (печатных узлов) необходимо проводить входной контроль монтируемых компонентов и печатных плат. Основные проблемы, возникающие на производстве, а также способы их локализации и предупреждения уже были рассмотрены в выпусках журнала «Вектор высоких технологий» №3 (16) июнь 2015 и № 7 (20) декабрь 2015. Если проблема заключается в неисправностях дискретных компонентов или же несложных микросхем и микросборок с небольшим количеством выводов, то выпаять их не составляет труда любому квалифицированному монтажнику. Но когда речь заходит о микросхемах с большим количеством выводов, возникает проблема замены дефектного компонента. В ряде случаев для решения такой проблемы требуется организация отдельного рабочего места и поиск высококлассного специалиста, который сможет демонтировать микросхему, не повредив остальные компоненты печатной платы и не перегрев токоведущие дорожки. В противном случае возникнет череда новых дефектов, которые снова придётся устранять.



1 Рабочее место для входного контроля программируемых логических интегральных схем ПЛИС

Отличным решением такой задачи в рамках производства является использование систем внутрисхемного контроля, которые позволяют локализовать дефектный компонент, короткое замыкание или обрыв между токоведущими дорожками. Используя дополнительную оснастку, можно организовать и входной контроль компонентов. Одним из самых ярких представителей внутрисхемного контроля являются системы SPEA, отличающиеся высокой точностью измерений и позиционирования летающих пробников (контактирования).

Но как же быть с контролем цифровых компонентов тем, у кого нет системы электрического контроля? Ведь затраты (как временные, так и материальные) на локализацию дефектного узла и его замену достаточно велики.

Специалисты ООО «Остек-Электро» создали рабочее место для входного контроля программируемых логических интегральных схем ПЛИС рис 1.

В конструктивной основе рабочего места лежит адаптерный тестер INGUN (ложе гвоздей). В контактную область тестера устанавливается специальный модуль (адаптер) рис 2, который представляет собой печатную



2 Модуль (адаптер) для установки ПЛИС

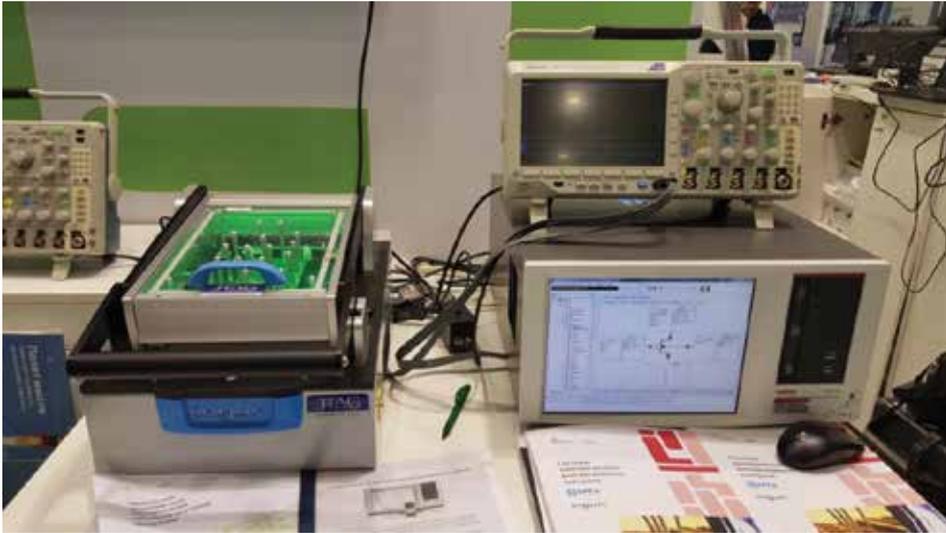
плату с необходимым количеством сокетов. Данный модуль разрабатывается индивидуально под каждый тип ПЛИС, учитывая тип корпуса (TQFP, PLCC, BGA и др.) и параметры (функциональные возможности).

Рабочее место входного контроля ПЛИС позволяет осуществлять следующие проверки:

- на контрафакт;
- нагрузочную способность;
- целостность разварки кристалла;
- быстродействие;
- соответствие фактического времени задержки прохождения сигнала через вентиль заявленному;
- температурный режим;
- программирование (конфигурирование) ПЛИС прошивкой.

В программно-аппаратный комплекс входного контроля ПЛИС входят: адаптерный тестер Ingun, модуль тестирования ПЛИС, станция периферийного сканирования Jtag, а также генератор и анализатор логических сигналов рис 3. Сам процесс проверки состоит из следующих этапов:

- проверка инфраструктуры ПЛИС и считывание ID-кода;
- запуск теста межсоединений (проверка целостности разварки кристалла);
- тест нагрузочной способности;
- контроль температурного режима (опционально);
- программирование ПЛИС через Jtag-интерфейс;
- проверка быстродействия и задержки прохождения сигнала через вентиль с помощью генератора и анализатора логических сигналов.



3

Рабочее место входного контроля ПЛИС

По результатам этих проверок можно сделать вывод о годности ПЛИС к дальнейшему монтажу на печатную плату. Установка на плату неработоспособной либо не отвечающей требованиям ПЛИС повлечёт за собой дополнительные затраты на поиск неисправности в собранном печатном узле. В ряде случаев демонтаж неисправного компонента может привести к появлению новых неисправностей на собранной плате.

Используя дополнительные приборы, можно проводить функциональный контроль печатных узлов, а также осуществлять периферийное сканирование цифровых изделий, если на плате установлен компонент с поддержкой стандарта IEEE 1149.1 и имеется доступ к его Jtag-портам.

Проведение входного контроля компонентов, в частности ПЛИС, в десятки раз снижает вероятность возникновения дефектов, связанных с контрафактом. Кроме того, после монтажа ПЛИС, прошедшей входной контроль с использованием вышеописанного рабочего места, нет необходимости дополнительно прошивать (конфигурировать) данную ПЛИС, так как такая операция уже входит в процесс тестирования. Безусловно, данный способ контроля не гарантирует 100 % отсутствие брака, однако позволяет значительно уменьшить спектр поиска возможных дефектов. ▣



Экономичность

До 5 раз дольше по сравнению с другими отмывочными жидкостями работают жидкости Zestron, производимые по запатентованной MPC-технологии и обладающие уникальным составом.

Подтвержденное качество

Более 10 лет жидкости Zestron успешно применяются в отечественном производстве РЭА ответственного и военного назначения, обеспечивая высокое качество отмывки и надежный результат.

Максимальная совместимость

Уникальный состав обеспечивает максимальную совместимость жидкостей со всеми узлами и деталями оборудования для отмывки, способствуя продолжительному сроку службы оборудования и минимизируя расходы на обслуживание и простои.

Контроль и стабильность

Только Zestron предлагает специальные тестовые наборы для контроля состояния раствора отмывочных жидкостей для своевременной корректировки концентрации и состояния раствора, обеспечивая максимальную стабильность и надежность процесса отмывки.

Эффективность и универсальность

Жидкости Zestron гарантированно и качественно удаляют более 500 видов материалов для пайки.

ZESTRON
High Precision Cleaning



Никаких полумер. Вся полнота преимуществ

Оригинальные отмывочные жидкости Zestron гарантируют непревзойденное качество отмывки и стабильность результата. Широкий ассортиментный ряд позволяет подобрать отмывочную жидкость для конкретной задачи: в соответствии с типом оборудования и процесса, характером загрязнений, индивидуальными требованиями.

Отличительной особенностью отмывочных жидкостей Zestron является высокая эффективность: качественная отмывка, совместимость с оборудованием и компонентами, экономичность. Жидкости Zestron успешно зарекомендовали себя на ведущих отечественных производствах РЭА.

Официальный эксклюзивный дистрибьютор Zestron Группа компаний Остек обеспечивает высококвалифицированную техническую и технологическую поддержку, поставку со склада и оперативную доставку по всей России с соблюдением всех условий транспортировки и хранения.



будущее
создается



www.ostec-materials.ru
(495) 788 44 44
materials@ostec-group.ru



ТЕХПОДДЕРЖКА

Деформация LTCC-изделий в процессе обжига



Текст: Роман Кондратюк



С деформацией LTCC-изделий в процессе обжига так или иначе сталкиваются все производители. Эта проблема приобретает особое значение при запуске в производство новых изделий. В данной статье проведена классификация основных факторов, влияющих на изгиб LTCC-плат во время обжига; рассмотрены пути решения проблемы деформации с точки зрения выбора материалов, конструкции изделия, а также параметров технологического процесса.

Введение

Одной из наиболее часто встречаемых проблем при запуске в производство нового LTCC-изделия является деформация платы в процессе обжига. В связи с этим разработчики и технологи вынуждены искать, устранять причины и фиксировать допустимые значения изгиба для своего технологического процесса.

Деформация LTCC-плат во время обжига — это многофакторная и не всегда однозначно решаемая задача, поскольку многослойная низкотемпературная совместно спекаемая керамика представляет собой чередующиеся разнородные слои стекла, керамики, металлов с различными свойствами и поведением во время обжига. Особенности оборудования и технологического процесса также могут вносить неопределённость в данный вопрос.

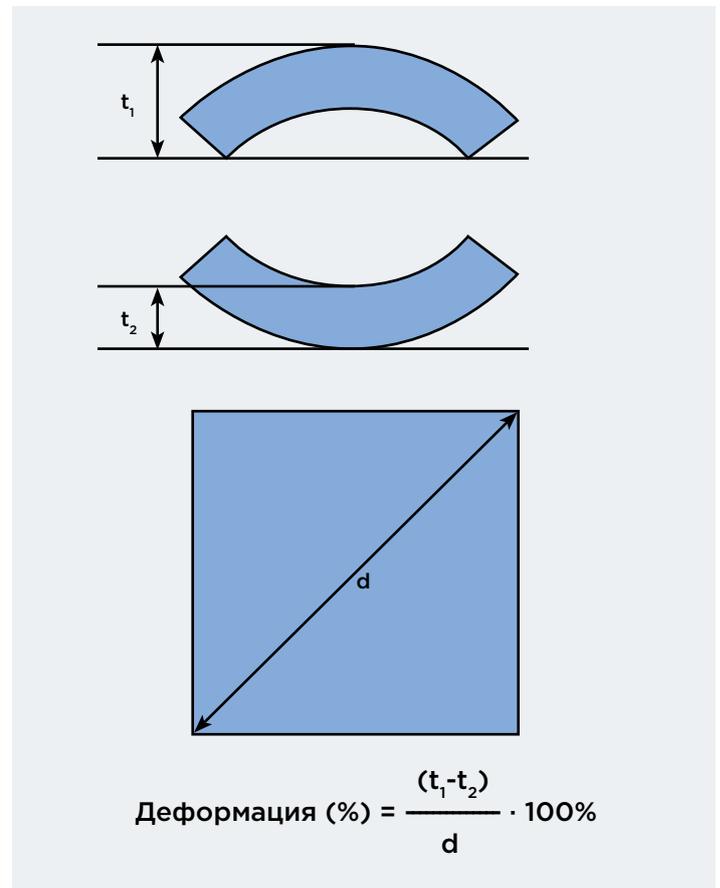
В связи с этим у технологов и разработчиков возникает необходимость классификации причин деформации LTCC-изделий во время обжига и изучения путей и методов её снижения.

Допуски на изгиб LTCC изделий

Компании, производящие LTCC-изделия, как правило, устанавливают допуски на изгиб многослойных плат в соответствии с возможностями своего производства и требованиями конечного потребителя изделий.

Методика измерения деформации и типовые значения допусков на изгиб для некоторых мировых производителей приведены на рис 1 и в Т 1. Из таблицы видно, что допуски на изгиб варьируются от 10 до 100 мкм на 1 см длины LTCC-платы в зависимости от типа тестовой структуры и от условий измерения. Указанные значения получают опытным путём. Они выступают индикатором технологических возможностей каждого конкретного производителя. На основании этих данных выпускаются рекомендации по проектированию с целью снижения деформации для заказных изделий.

Следует отметить, что значения неплоскостности для многослойных LTCC-плат отличаются в худшую сторону от соответствующих значений для однослойных керамических плат, используемых для тонкоплёночной технологии. Это вызвано тем, что однослойные платы не испытывают воздействия разнородных материалов во время обжига и в ряде случаев подвергаются дополнительной полировке. Поэтому переход от керамических изделий, изготовленных по тонкоплёночной технологии, к LTCC-платам может потребовать изменения технологического маршрута изготовления конечного изделия.



1
Метод определения деформации LTCC-платы

Причина деформаций LTCC-изделий

В основе эффекта деформации LTCC-платы во время обжига лежит эффект, схожий с поведением биметаллической пластины рис 2. Два разнородных металла, жёстко соединённых друг с другом (пайкой, сваркой или разъёмным соединением), при изменении температуры расширяются или сжимаются в соответствии со своими температурными коэффициентами линейного расширения (ТКЛР):

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T \quad (1),$$

где ΔL — изменение длины, L_0 — начальная длина, α — ТКЛР, ΔT — разность температур.

Это приводит к изгибу всей биметаллической пластины в сторону металла с большим ТКЛР (нагрев) или с меньшим ТКЛР (охлаждение) рис 2.

Т 1

Допуски на неплоскостность основных мировых производителей LTCC-изделий

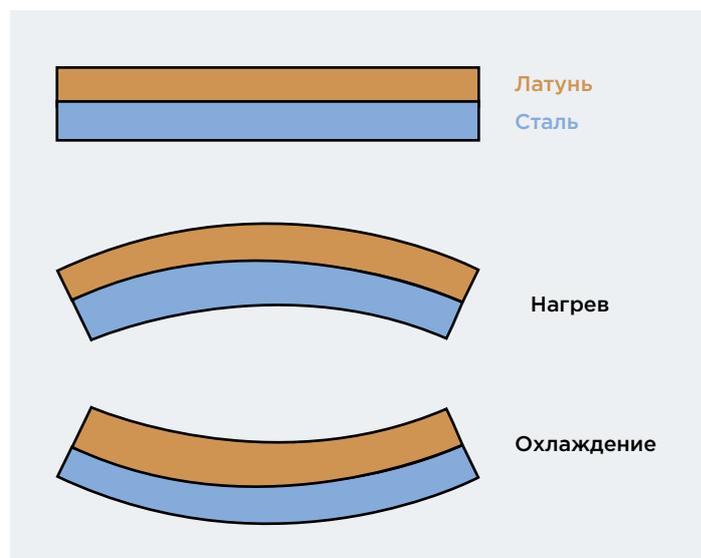
Компания	Неплоскостность		Условия измерения
	(исходные данные)	(в %)	
Anaren Ceramics	< 3 мкм/см	< 0,03	8 слоёв без металлизации
ATC	< 2 мкм/мм	< 0,2	-
DuPont	< 3 мил/дюйм	< 0,3	-
Ferro	< 3 мил/дюйм	< 0,3	-
Heraeus	< 1 мил/дюйм	< 0,1	Образец 2»x2» со сбалансированной металлизацией
Hirai	±0,3 %	± 0,3	
Kyocera	< 0,004 дюйм/дюйм	< 0,4	-
Murata	±5 мкм/4мм	< 0,13	Образец 4x4мм с металлизацией
Natel			Повторяет подложку
Pilkor	±0,4 %	± 0,4	-
Sea Ceramic Technologies	< 2 мил/дюйм/дюйм	< 0,2	-
SEI (C-MAC)			Повторяет подложку
Via Electronic	0,005-0,08 мм /10 мм	0,05 – 0,8	Образец 10x10 мм

Однако ТКЛР является не единственным параметром, определяющим изгиб биметаллической пластины. Деформация также зависит от толщины и модуля упругости слоёв¹. Если, например, один из разнородных металлов напылён тонким слоем на другой металл или двуслойная пластина состоит из слоёв эластомера и твёрдого металла, то вероятность возникновения биметаллического эффекта стремится к нулю, поскольку сжатие/расширение будет в значительной степени определяться наиболее толстым и твёрдым слоем металла.

В случае с обжигом многослойных LTCC-изделий наблюдается схожая ситуация, поскольку здесь вместе соединяются чередующиеся разнородные слои керамики, стёкол и металлов.

Деформация при обжиге многослойной керамики обусловлена различием коэффициентов сжатия и расширения слоёв. Однако при рассмотрении этого процесса основное значение приобретают коэффициенты усадки слоёв во время обжига, а не ТКЛР, как в случае биметаллической пластины. В процессе обжига происходит размягчение слоёв керамики, металлизации, переход в твердое состояние и их спекание, которое приводит к уплотнению и сжатию слоёв.

Процесс деформации многослойных плат во время обжига описан математически². Величина изгиба LTCC-плат зависит от толщин слоёв, упругих свойств материалов в твёрдом состоянии, вязкостей в размягчённом состоянии, а также от коэффициентов усадки слоёв в процессе обжига.



2 Биметаллическая пластина

Считается, что основное влияние на деформацию многослойных плат оказывает различие коэффициентов усадки керамики и металлизации. Однако в некоторых случаях может наблюдаться изгиб при обжиге многослойных керамических плат и без металлизации рис 3. Такой эффект может быть обусловлен различием коэффициентов усадки отдельных областей платы вследствие неравномерного прогрева, различной плотности и состава керамики, прилипания керамики к подложке или избыточного потока воздуха, который деформирует керамику в размягчённом состоянии.

1 T. Clyne, «Residual stresses in surface coatings and their effects on interfacial debonding,» Key Engineering Materials (Switzerland), pp. Vol. 116–117, pp. 307–330., 1996.

2 J.-H. J. a. C.-R. Chang, «Camber development during cofiring Ag-based Low-dielectric-constant ceramic package,» . Mater. Res., pp. Vol. 12, No. 1, Oct 1997.



3 Пример деформации LTCC-платы после обжига. Металлизация отсутствует

При обжиге плат с металлизацией ко всем перечисленным факторам добавляется также различие в усадке керамики и металлических слоёв. Совместимость материалов в таких изделиях выходит на первый план.

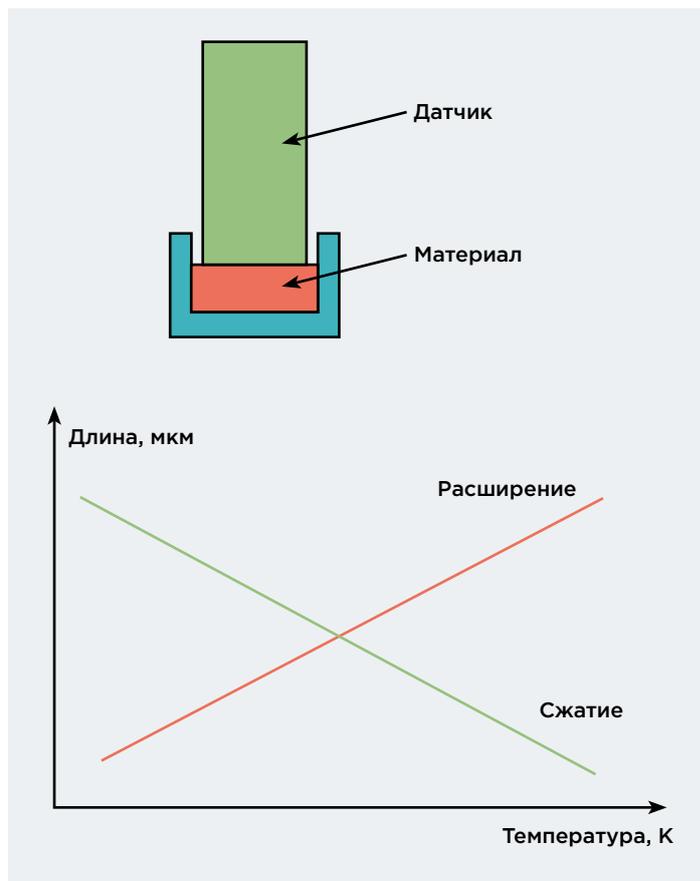
Совместимость LTCC-материалов

Основной методикой для проверки совместимости LTCC-материалов является термомеханический анализ (ТМА). Суть метода заключается в измерении геометрических размеров отдельных материалов при их нагревании/охлаждении рис 4.

На рис 5 показаны результаты ТМА анализа для LTCC-системы Ferro А6М-Е. По оси X отложено время нагрева (минуты), по оси Y1 — изменение линейных размеров образца материала (%), по оси Y2 — температура (°C). На графике показаны профиль изменения температуры (прямая линия, ~ 8,1 °C/мин), а также изменение размеров образцов LTCC-керамики (график 1 на рис 5) и металлизационных паст (графики 2 – 5 на рис 5).

Анализ данных ТМА показывает, что при нагревании все LTCC-материалы в определённый момент начинают сжиматься, затем выходят на фиксированный размер или расширяются. Такое поведение объясняется составом веществ и физико-химическими процессами, протекающими в материалах во время обжига.

LTCC-керамика состоит из смеси порошков низкотемпературных стёкол и керамики. При нагревании происходит расплавление стекла, растворение в нём



4 Суть термомеханического анализа

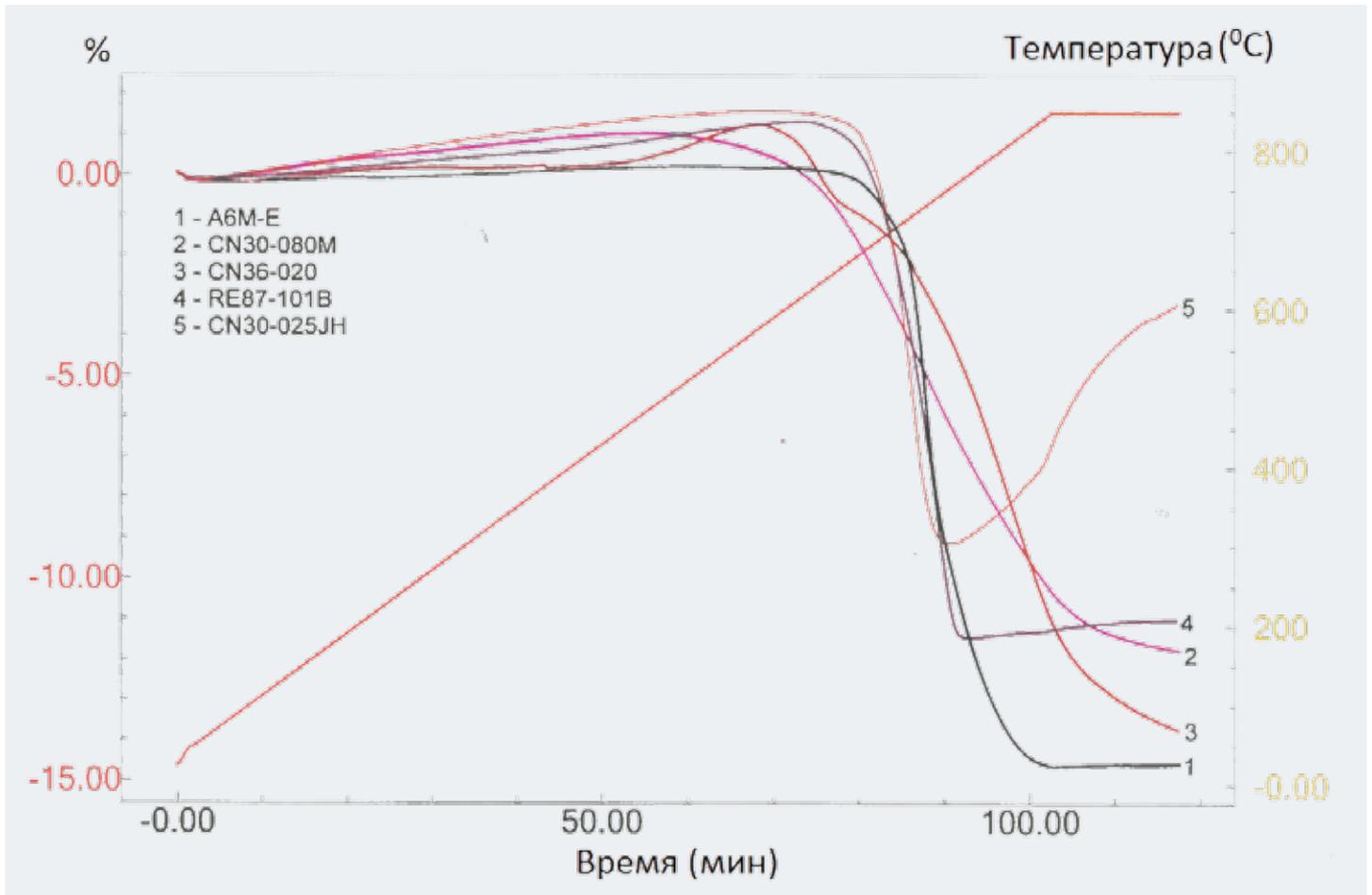
керамического наполнителя, изменение состава и фазовое превращение материалов. В связи с этим наблюдается уменьшение объёма вещества, и, как следствие, увеличение его плотности (график 1 на рис 5).

Металлизационные пасты состоят из смеси порошков стекла и металла (Ag, Au, Pt, Pd) иногда с добавлением керамики³. Поведение данного материала схоже с LTCC-керамикой, но при определённой температуре усадка сменяется расширением (графики 2 – 5 на рис 5). Это объясняется спеканием металлических частиц в твёрдую матрицу и последующим её расширением при нагревании в соответствии со своим ТКЛР.

Производители LTCC-систем стараются получить схожие графики ТМА для керамики и металлизационных паст рис 5. Это снижает вероятность возникновения деформаций многослойных изделий во время обжига.

Следует отметить, что ТМА проводится для изолированных образцов материалов, и их поведение может существенным образом отличаться в многослойной структуре, когда на каждый слой воздействуют другие.

3 T. M. a. P. H. Biroi, «Modification of Thick-film Conductors Used in IP Technology for Reduction of Warpage during Co-firing of LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) Modules,» Key Engineering Materials, pp. Vols. (2006) pp. 746-749.



5

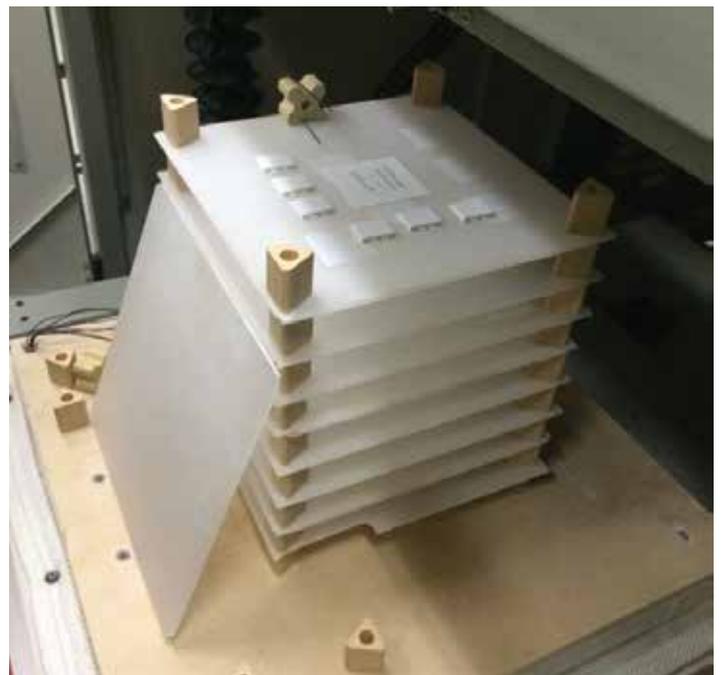
Данные термомеханического анализа для LTCC-керамики Ferro A6M-E

На практике полного совпадения графиков усадки получить не удаётся в силу различий в природе веществ. Однако результаты ТМА не являются единственным фактором, определяющим величину деформации многослойных плат, и образцы с высокой плоскостностью могут быть получены даже при существенном расхождении в коэффициентах усадки.

В многослойной конфигурации на изгиб во время обжига могут также влиять механические свойства паст/керамики (вязкость, твёрдость, пластичность и проч.) и величина адгезии паст к керамическим слоям⁴. Кроме того, важную роль в деформации играет толщина керамических листов и металлизации. Изгиб во время обжига зависит от толщины слоёв как:

$$k \sim \frac{6d}{D^2} \quad (2)$$

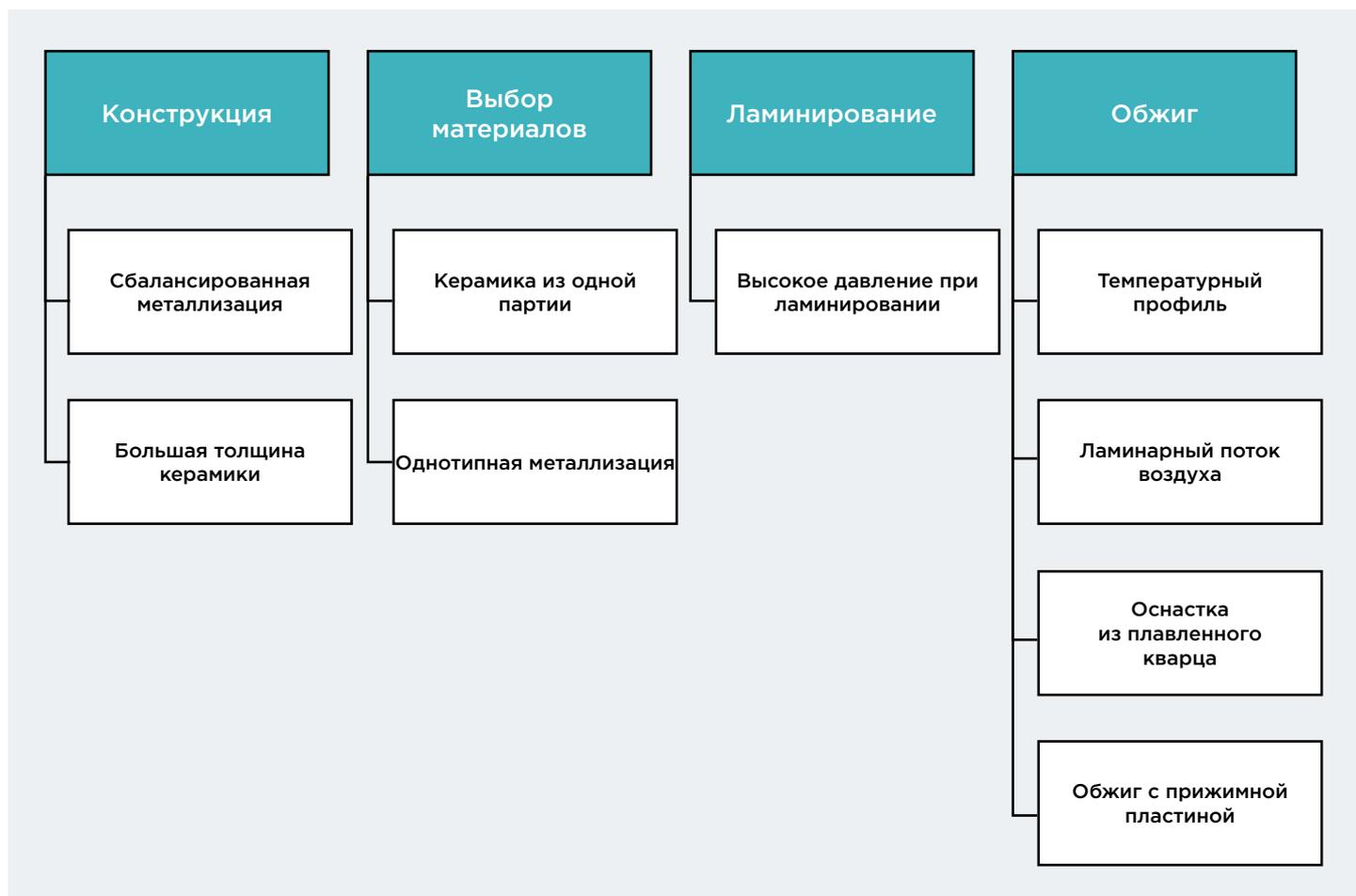
где k — изгиб пластины, d — толщина металлизации, D — толщина керамики.



6

Оснастка из плавящего кварца для обжига LTCC-керамики

⁴ G. L. M. a. D. J. G. Sang-Ho Lee, "Warpage Evolution of Screen Printed Multilayer Ceramics During Co-firing," Key Engineering Materials, pp. Vols. 264-268 (2004) pp. 321-328.



7 Основные факторы, определяющие деформацию LTCC-изделий после обжига

Поэтому при фиксированном комплекте LTCC-материалов основным фактором, определяющим деформацию, является толщина керамики — чем она больше, тем меньше изгиб.

Таким образом, деформация многослойных плат во время обжига зависит от совместимости материалов, их физических свойств и толщины слоёв металлизации и LTCC-керамики.

Устранение деформаций

Изгиб многослойных плат во время обжига определяется силами сжатия/расширения, возникающими между разнородными слоями материалов. Величина этих сил зависит от многих факторов, таких как усадка материалов, их физические свойства, толщина слоёв, параметры техпроцесса. В связи с этим усилия по снижению деформации могут быть направлены на оптимизацию конструкции LTCC-изделия, выбор схожих материалов и отладку технологического процесса [рис 7](#).

С точки зрения конструкции LTCC-изделия следует проектировать металлизацию, сбалансированную относительно центра платы (горизонтальная плоскость). Это

позволяет снижать изгиб платы за счёт равномерной усадки слоёв металлизации во время обжига.

Также при разработке конструкции изделия важно учитывать соотношение толщин металлизации и керамики (формула 2). Для снижения изгиба плат при обжиге рекомендуется увеличивать толщину керамики.

При выборе LTCC-материалов необходимо обращать внимание на их исходные свойства, такие как совместимость коэффициентов усадки (ТМА) и однотипность металлизации (использование Au с Au или Ag с Ag металлизацией). Также рекомендуется в одном изделии использовать керамику из одной партии, поскольку усадка может различаться от партии к партии. Высокая совместимость материалов позволяет снизить деформацию многослойной структуры во время обжига.

С технологической точки зрения важнейшими этапами, определяющими деформацию, являются ламинирование и обжиг. Эти две технологические операции в значительной степени определяют коэффициенты усадки слоёв во время обжига.

Высокое давление при ламинировании снижает коэффициент усадки слоёв. В ряде случаев это помогает устранять или уменьшает деформацию плат во время обжига.

Обжиг керамики является одним из наиболее сложных и ответственных технологических процессов в производстве LTCC-изделий и определяет параметры и качество конечных изделий. С точки зрения деформации следует обращать внимание на температурный профиль, поток воздуха и используемую оснастку. Для образцов с толщиной более 1,5 мм следует устанавливать скорость нагрева ≤ 1 С/мин до этапа выжигания органики. Это позволяет равномерно прогревать и выводить из LTCC-платы летучие компоненты. Поток воздуха в печи должен быть ламинарным и обеспечивать равномерный прогрев всего изделия. Оснастку рекомендуется выбирать из плавящего кварца, с целью снижения вероятности прилипания LTCC-изделия во время обжига 

В ряде случаев для обеспечения высокой плоскостности изделий во время обжига используется прижим-

ная пластина из пористого материала. Масса пластины выбирается достаточной для компенсации изгибающих сил, но в то же время не слишком большой, чтобы не влиять на усадку LTCC-изделия в горизонтальном направлении. Наличие пор или отверстий в пластине необходимо для вывода органических летучих компонентов из LTCC-материалов во время обжига. Наиболее часто применяемыми решениями здесь являются пористые прижимные пластины из оксида алюминия или оксида циркония.

Таким образом, устранение деформаций LTCC-изделий может быть направлено в сторону оптимизации конструкции, выбора согласованных материалов, подбора параметров ламинирования и обжига, а также использования прижимной пластины во время спекания.

Деформация в процессе обжига является важной и не всегда однозначно решаемой задачей в производстве LTCC-изделий.

В основе деформации многослойных плат лежит эффект, схожий с эффектом биметаллической пластины, когда при нагревании/охлаждении наблюдается различное сжатие или расширение слоёв. При обжиге LTCC-изделий основной вклад в деформацию вносит усадка слоёв за счёт уплотнения структуры, изменения состава и фазовых превращений, входящих в систему материалов.

LTCC-система — это прежде всего согласованные по коэффициентам усадки керамика и металлизация. Для подбора коэффициентов усадки производители LTCC-материалов используют термомеханический анализ. Схожие ТМА-графики позволяют говорить о совместимости разнородных слоёв с точки зрения деформации.

Снижению проблем с деформацией во время обжига способствуют сбалансированная относительно центра платы металлизация, увеличение толщины керамики, отладка процессов обжига и ламинирования, а также использование прижимной пластины во время обжига.

В целом устранение проблем с деформацией LTCC-изделий требует практических навыков и не всегда решается однозначно. Специалисты Группы компаний Остек, используя значительный опыт компании Ferro в области разработки и применения LTCC-материалов, готовы оказать всестороннюю техническую и технологическую поддержку в решении проблем, возникающих при производстве LTCC-изделий. 



Экономия времени

1. Совещания:
 2ч. в нед. x 45 нед. =
 = 90 часов в год

2. Обходы:
 Помощники-четыре
 2ч. в нед. = 90 часов в год

3. Отчеты:
 1ч. 20 мин. в нед. =
 = 30 часов в год

Итого: 90+90+30=
 = 210 часов в год!

1-й год работы
 ПАК "СИНТИЗ"
 Показатели производства

1. Снижение энергозатрат	4,2%
2. Коэф-т загр. оборудования	53 → 68%
3. Сокр. ТОиР	13%

— Рыбалка с Сергеем ✓
 — В отпуск с семьей ✓
 — ЧМ по хоккею ✓
 — С машиной в Париж ✓



Повышение скорости и качества принятия управленческих решений

Сокращение затрат на обслуживание и эксплуатацию парка оборудования

Повышение качества взаимодействия служб предприятия

Повышение эффективности использования оборудования и сокращение срока его окупаемости

Повышение качества и скорости подготовки отчетов

ПАК СИНТИЗ, разработанный специалистами Группы компаний Остек, представляет собой программно-аналитический комплекс, предназначенный для повышения эффективности и сбалансированности работы технологического оборудования и инженерных систем промышленного предприятия.



будущее создается



www.sintiz.ru
 000 «Остек-СМТ»
 energo@ostec-group.ru
 (495) 788 44 44 (доб. 5500)





Видеть сегодня производство будущего невозможно, **НО ПУТЬ К НЕМУ — НЕОБХОДИМО**

Чем сложнее производство, тем сложнее учесть все факторы, от которых завтра будут зависеть его эффективность, рентабельность, конкурентоспособность его продукции. Опираясь на свой опыт и сотрудничество с ведущими мировыми поставщиками оборудования и технологий, мы содействуем комплексному развитию предприятий электронной и радиоэлектронной промышленности. Наш подход основан на пяти слагаемых: исследование, планирование, проектирование, оснащение, сопровождение. Эта формула технологического роста позволяет предприятиям найти оптимальный путь к успеху.



будущее
создается



www.ostec-group.ru
(495) 788 44 44
info@ostec-group.ru

