

Автоматическая головка для тестирования прочности сварных соединений от F&K Delvotec: шаг на пути к бездефектному производству

Зигфрид Зейдл
(Siegfried Seidl)

Siegfried.Seidl@fkdelvotec.at

Йозеф Седлмаэр
(Josef Sedlmair)

Josef.Sedlmair@de.fkdelvotec.com

Сергей Валев

valev@ivtec.ru

Развитие концепции удобной «микрофабрики» серии 56XX: первая в мире полностью автоматическая тестовая головка

Принцип многоголовой гидры — «Одна установка — много функций» — уже помог модели серии 56XX стать одним из бестселлеров рынка сборочного оборудования. Эти установки изначально были предложены как тестеры прочности соединений, а затем к трем типам тестовых функций добавились 4 типа сварочных. И всего за 4 года только в Европе было продано более 200 установок серии 56XX (рис. 1). Это произошло благодаря возможности произвольного набора заказчиком сварочных и тестовых головок. По статистике большинство заказчиков выбирают системы с двумя и более головками (например, для клиновой сварки толстой и тонкой проволокой). В результате было поставлено более пятисот головок для установок серии 56XX. На предприятиях во всем мире, в том числе и в России, по достоинству оценили эффективность комбинированной установки. В то время, как обычные тестеры прочности соединений при сопоставимой цене простаивают в среднем

более 95% рабочего времени, модель 5600, являясь полноценной установкой сварки, способна выполнять самые трудные задачи. На рис. 2 представлен пример ультразвуковой сварки GaAs кристалла с 512 сварными соединениями в двух уровнях. Сейчас диапазон сварочных головок для 56XX охватывает все промышленные технологии образования проволочных выводов, включая сварку в глубоком колодце, сварку тонкой и толстой лентой, традиционные термовздуковую, ультразвуковую, термокомпрессионную и ТАВ-сварку. Разумеется, речь идет обо всех используемых типах проволоки — золотой, алюминиевой и медной. В 2009 году основные узлы сварочных головок серии 56XX (привод вертикальной оси и узла поворота) были существенно модифицированы, и об этом, возможно, пойдет речь в следующей статье цикла. Сейчас же мы расскажем о небольшой революции в тестировании прочности соединений — теме, актуальность которой трудно переоценить.

Применение принятых в отрасли методик проверки качества микросварных изделий, в особенности для автомобильной промышленности и специальных применений, — задача в равной степени важная и трудоемкая. Это касается проверки качества микросварных соединений после операции ультразвуковой сварки методом подъема крючком или сдвига лезвием (международные термины, соответственно, Pull-test и Shear-test) (рис. 3). Эту монотонную работу из-за ее длительности и кропотливости операторы не любят. Нередки случаи, когда они хитрят и подгоняют результаты тестов под желаемые величины подбором положения инструмента,



Рис. 1. Внешний вид установки 56XX со сменными головками

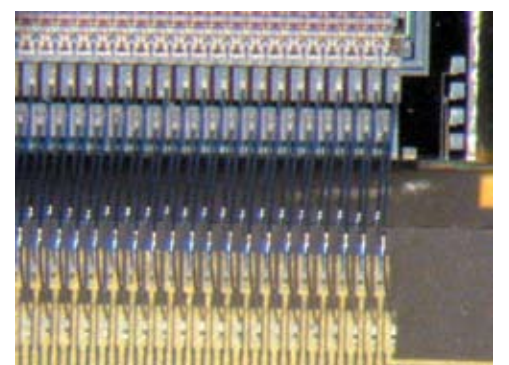
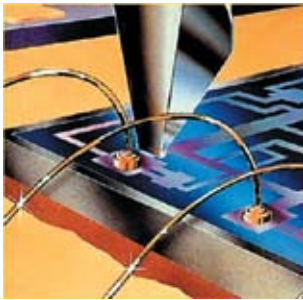


Рис. 2. Пример сварки сложного изделия, выполненной на установке 56XX



а



б

Рис. 3. а) Тест на подъем/обрыв крючком; б) тест на сдвиг

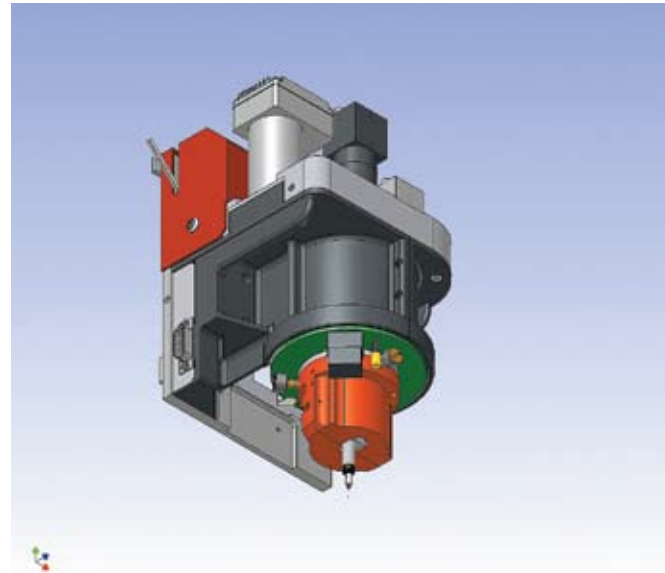


Рис. 4. Внешний вид универсальной тестовой головки 5600С с установленным картриджем для пулл-теста

как будет описано далее. До сих пор на рынке не было удобного устройства, которое бы проводило тестирование прочности соединений в автоматическом режиме, независимо от навыков и желаний оператора.

Новое поколение тестирующей головки для установки серии 56XX (рис. 4) было представлено в этом году австрийским отделением F&K Delvotec. Новая, полностью автоматическая тестовая головка получила наименование 5600С. Она оснащена цветной ПЗС-камерой и приводом узла поворота, аналогично сварочным головкам, и позволяет проводить тестирование в ручном, полуавтоматическом и в полностью автоматическом режимах. Выгоды приобретения такой головки очевидны: тестирование приборов становится проще и дает более достоверные и качественные результаты. Проще — поскольку при работе с новой тестовой головкой оператор осуществляет гораздо меньше действий, а к его навыкам не предъявляются особые требования. Качественнее — поскольку оператор не может вольно или невольно влиять на результат. Не надо забывать, что тестирование можно проводить как разрушающим, так и неразрушающим методом, то есть головка 5600С дает возможность производителям электроники специального назначения проводить достоверный неразрушающий 100%-ный тест соединений перед герметизацией приборов.

Аппаратная часть тестовой головки 5600С представляет собой платформу с моторизованной осью поворота инструмента на 360° и цветной ПЗС-камерой, которую можно оснастить объективами различной степени увеличения. Использование в конструкции головки вертикально-направленной камеры является большим преимуществом при работе. Исключены неизбежные при использовании микроскопа ошибки с позиционированием инструмента, вызванные параллаксом изображения. (Микроскоп в данном типе установок всегда дает изображение точки тестирования

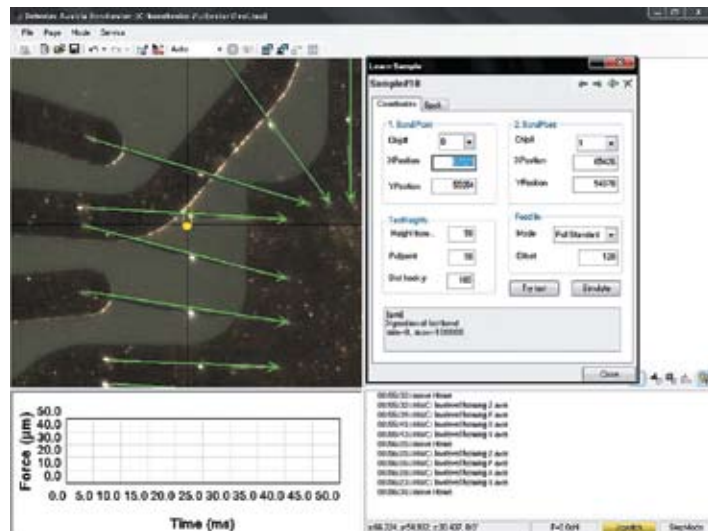


Рис. 5. Пользовательский интерфейс тестовой головки 5600С: зелеными отрезками обозначены петли; стрелкой — направление сварки; желтым прямоугольником — текущее угловое положение крючка для пулл-теста; справа — таблица параметров тестирования текущей петли; слева внизу — график нарастания усилия при тесте

под углом к оси инструмента, и только очень опытный оператор может достаточно точно взять этот фактор в расчет при наведении инструмента.) При плотном расположении петель точное позиционирование инструмента является определяющим преимуществом.

Тестовая головка 5600С может быть оснащена любым набором тестовых картриджей. Они компактны, для их замены не нужно снимать тестовую головку с установки, диапазон измеряемых величин и точность измерения соответствуют жестким требованиям, предъявляемым к данному типу оборудования. Преимущество заказчика состоит в том, что картриджи не дороги и могут быть доставлены в любое время после поставки самой головки.

Основное программное обеспечение установки было дополнено рядом новых функций и оптимизировано, а программное

обеспечение новой тестовой головки — это знакомый набор команд для тестирования с удобным интерфейсом сварочной головки (рис. 5). Специалистам F&K Delvotec удалось добиться полной ясности и совместимости сварочных и тестовых программ. Теперь программы, написанные для любой из сварочных головок, могут быть загружены и использованы при создании программ тестирования. Оператор без усилий получает весь массив координат точек сварки, высот и направления петель, высот подложек и кристаллов. Такая совместимость рабочих программ существенно упрощает задачу оператора и исключает большинство его ошибок.

Вместе с тем продолжается выпуск и обычных тестовых головок серий PH, SH и TW (для тестирования на подъем крючком, сдвиг лезвием и вертикальный обрыв пинцетом). Эти головки

позволяют тестировать соединения в ручном или полуавтоматическом режиме и без проблем поддерживаются модифицированным для автоматической головки 5600С основным программным обеспечением установки.

Ручной и автоматический режимы тестирования

Для примера работы с новой тестовой головкой рассмотрим пулл-тест (подъем/разрыв крючком), как наиболее часто применяемый в отрасли.

Тестирование в ручном режиме

Такое тестирование необходимо при первичной отладке параметров сварки. Как правило, проводится серия сварок на тестовом материале с использованием разных режимов, а затем полученные соединения тестируются для выбора оптимального набора параметров сварки. Рабочий инструмент (крючок) с помощью джойстика подводится к позиции тестирования и поворачивается под нужным углом к оси петли. Изображение проекции крючка с учетом текущего угла поворота при этом накладывается на «живое» изображение с камеры (рис. 5). Сам тест система выполняет автоматически следующим образом:

- Головка немного отходит от продольной оси петли, крючок на определенной высоте (чтобы не задеть проволоку) поворачивается на 90° и устанавливается параллельно оси петли.
- Затем крючок опускается ниже высоты петли, поворачивается в заданное оператором положение (перпендикулярно оси петли) и поднимается либо до достижения заданного неразрушающего усилия, либо до обрыва петли. Такие параметры теста, как высота петли и положение точки тестирования, программируются в удобном windows-интерфейсе.

При проведении теста система фиксирует не только величину усилия, но и процесс его нарастания, который в виде графика выводится в одно из окон пользовательского интерфейса. При этом все возможные аномальные режимы (отскок, касание соседних петель, сползание проволоки по крючку, пластическая деформация и отслоение контактной площадки) ясно определяются на этом графике и дают возможность не учитывать некорректные тесты при анализе результатов сессии.

Однако, несмотря на достигнутое в ручном тестировании удобство, основная цель создания головки 5600С — ее работа в автоматическом режиме.

Как уже было сказано выше, для работы в автоматическом режиме оператор импортирует имеющуюся программу сварки или (при ее отсутствии) задает последовательно расположение петель. После того как массив данных о точках сварки задан, выбираются петли для тестирования. Для выбора петли достаточно указать на нее курсором и подтвердить выбор нажатием кнопки мыши.

Одним из ключевых моментов при проведении пулл-теста является подбор точки при-

ложения усилия. В идеальном случае точка тестирования совпадает с геометрическим центром петли. Реальные же задачи часто требуют смещения точки приложения усилия. Координаты первой и второй точек сварки расположены, как правило, на разных поверхностях, находящихся на различной высоте. Разновысотность точек сварки играет ключевую роль в правильном определении прочности соединения. Методика расчета координаты точки тестирования в зависимости от взаимного расположения поверхностей кристалла и подложки сводится к задаче разложения сил из школьного курса физики. Важно, что программное обеспечение установки позволяет задать высоты точек сварки, расположенных на разных поверхностях. Значение высот точек сварки для текущей петли всегда выводится на монитор. Коррекция координаты точки тестирования может быть проведена как для каждой индивидуальной петли в программе, так и для всех петель, так как эта коррекция введена в качестве глобальной величины. На операторском экране положение петли и ее номер в программе обозначается зеленым отрезком, а место ввода крючка — желтым прямоугольником с точкой, обозначающей вертикальную ось инструмента (рис. 5). Помогает при отработке режима тестирования и функция симуляции теста без касания петли.

После определения координат тестирования оператор должен определить реперные точки на кристалле и подложке. Как правило, выбираются две диагональные точки на подложке и кристалле. Это очень важно, поскольку тест должен проводиться в одной и той же точке петли, независимо от точности монтажа кристалла на подложке. Неточности позиционирования кристалла на подложке изменяют взаимное их расположение, а следовательно, длину и угол подхода петель к контактным площадкам. Алгоритм компенсации этих неточностей заложен в программное обеспечение головки 5600С.

Корректное нахождение угла подхода крючка к петле в режиме ручного тестирования, как было описано выше, является задачей оператора. При неточном подборе этого угла результаты тестирования будут иметь малую воспроизводимость. В идеале крючок при тестировании должен быть перпендикулярен оси петли, и если расходящиеся петли расположены почти параллельно, например, в случае многовыводных СБИС или МКМ, этот угол подобрать особенно трудно.

Тестирование в автоматическом режиме

По сравнению с ручным, автоматический режим удобен еще и тем, что, зная координаты начальной и конечной точек петли, система автоматически вычисляет ее направление и необходимый угол поворота крючка.

Таким образом, для проведения теста в автоматическом режиме оператор лишь помещает изделие на рабочий стол и нажимает кнопку «Старт». Если изделие содержит много кристаллов или используется групповой адаптер, реперные точки можно задать для каждого из интересующих объектов. Машинное зрение в установке 56XX может быть либо активным (тогда система сама распознает реперные точки и начнет тестирование), либо пассивным (в этом случае оператору придется вручную подтвердить, что реперные точки найдены правильно).

Для удобства оператора протестированные и оборванные петли отображаются красными линиями, а та, что тестируется в данный момент, — синей линией. Если тестирование носит неразрушающий характер (например, при тесте толстой алюминиевой проволоки), петли, протестированные и прошедшие тест, отображаются зелеными отрезками, а не прошедшие — красными (рис. 6). На экран во время теста выводится график нарастания усилия текущей петли, а также таблица результатов последней сессии тестов.

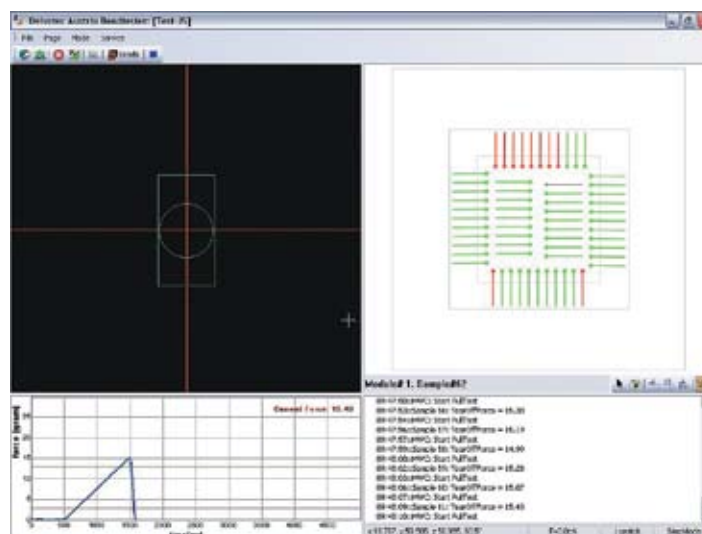


Рис. 6. Визуальное отображение годных (зеленые) и негодных (красные) соединений при проведении неразрушающего теста с калиброванным усилием подъема: внизу слева — график нарастания усилия и критерии годности (зеленая линия — тестовое усилие 13 г)

Человеческий фактор

Как уже говорилось выше, от места, в котором крючок цепляет петлю, зависит величина измеренного разрывного усилия. При перепаде высот между поверхностями кристалла и подложки (траверсы корпуса) крючок должен быть смещен в сторону точки, находящейся на более высокой поверхности. Углы приложения силы в этом случае выравниваются, и усилие, прилагаемое к обеим точкам сварки, получается одинаковым. Опытные операторы иногда пользуются этим правилом таким образом: зная, что, к примеру, прочность соединения на кристалле высокая, они смещают крючок к этой точке и получают высокое значение прочности, скрывая, что прочность сварки на траверсе гораздо более слабая.

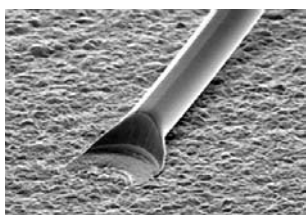


Рис. 7. Метод «шарик-клин», вторая точка сварки

Такая практика служит источником забот службы качества, особенно при использовании в производстве сварки методом «шарик-клин». Этот метод применяется, в частности, в изделиях оптоэлектроники, сложных гибридных и СВЧ-модулях. В таких типах петель вторая точка сварки (иногда ее называют «рыбий хвост» за характерную форму отпечатка капилляра) всегда расположена на подложке — печатной плате, керамике, полиимиде (рис. 7). Прочность соединения золота проволоки с тонким слоем золота на подложке гораздо ниже, чем с более толстым слоем золота на контактной площадке кристалла.

Технологи изобрели множество уловок, чтобы снизить этот эффект. Три основных приема — это «закрепляющая» вторую точку сварки петля, иногда расположенная под углом к основной, «базовый» шарик, на который потом ставится вторая точка петли (метод BSB — Ball Stitch on Ball, рис. 8) или комбинация того и другого. Но даже эти приемы не спасают от того, что опытный оператор, который заинтересован в максимальном количестве (а не качестве) продукции, не смог бы обмануть тестер. Все, что нужно сделать, — это разместить крючок очень близко к первой точке, откуда петля отходит почти вертикально. При этом сила, приложенная

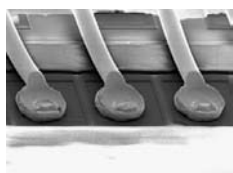


Рис. 8. Сварка BSB (Ball Stitch on Ball)

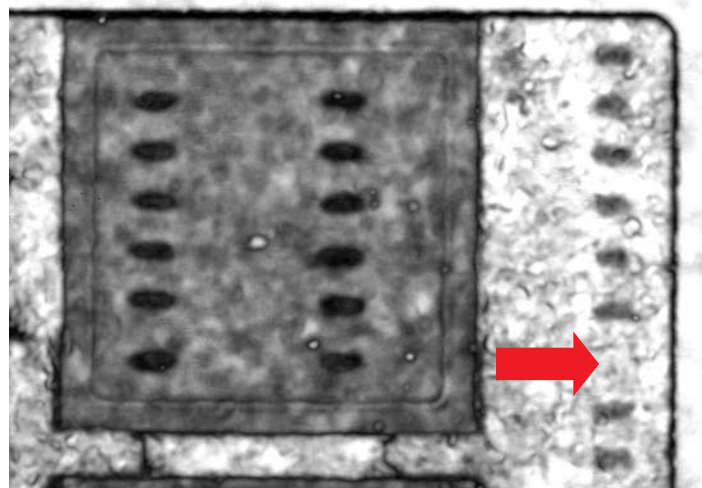


Рис. 9. Исследование сварных соединений с помощью ультразвукового сканера (продолговатые отпечатки сварных соединений на кристалле (слева) и подложке (справа) говорят о качестве диффузии металлов в месте сварки; стрелкой показано дефектное соединение)

во второй точке, во время теста будет в несколько раз меньше, чем сила, приложенная к первой точке. Формально все параметры соединения будут отличными, и партия изделий пройдет приемку. Но долговременные результаты такой практики очень печальны: дефектные приборы выйдут из строя в эксплуатации, и производитель понесет большие потери — прямые и косвенные.

Анализ брака, как правило, не выявляет истинной причины отказов, поскольку протоколы приемо-сдаточных испытаний документировано показывают отличное качество сварных соединений. Производитель дефектного прибора теряет имидж, ответственные задачи срываются, клиенты переносят свой заказ на другие предприятия в России или Азии, а сама методика измерений прочности подвергается критике из-за своей невоспроизводимости и субъективности. Авторы не раз были свидетелями отладки параметров процесса ультразвуковой сварки с использованием в качестве измерительного прибора ручного стенда с динамометром. Конечно, полной профанацией этот стенд назвать нельзя, и отличить абсолютно негодное соединение от условно-приемлемого он позволяет. Однако говорить о точности, воспроизводимости и достоверности измерения, выполненного на таком устройстве, конечно, нельзя.

Автоматическое тестирование прочности соединений с помощью головки 5600С ставит крест на субъективности и манипуляциях с результатами тестирования. Вольно или невольно, оператору остается лишь фиксировать фактические значения, полученные с точнейшим расчетом положения крючка.

Тестирование на сдвиг — тоже просто

В ряде случаев о качестве соединения нельзя судить по результатам пулл-теста. К примеру, это относится к сварке толстой алюминиевой проволокой, применяемой

в технологии производства силовых приборов. Качество диффузии металла проволоки в металл контактной площадки в этом случае можно определить только тестом на сдвиг, поскольку на срезе соединения будет отчетливо видна площадь взаимодействия двух металлов. Другие методы тестирования соединений толстой алюминиевой проволокой требуют гораздо более дорогого и специфического оборудования, покупка которого не по силам большинству предприятий. В качестве примера альтернативного метода исследования на рис. 9 представлен анализ сварных соединений методом ультразвуковой дефектоскопии на установке Sonix Fusion.

В отличие от тестирования крючком, тест на сдвиг дает более полезную информацию при проведении неразрушающего контроля с калиброванным усилием, поскольку его значение может быть гораздо ближе к разрушающему порогу. Важно то, что неразрушающий тест на сдвиг не наносит вреда соединению, в отличие от неразрушающего теста на подъем крючком, после которого петля оказывается деформированной, а остаточная прочность соединения уменьшается на 30–40%.

В идеальном случае при производстве особо ответственных приборов силовой электроники необходим неразрушающий контроль на сдвиг 100% соединений. Применение такого теста в ручном режиме — технологическое безумие, поскольку риск повреждения соседних петель перевешивает идею контроля качества. В случае же автоматического тестирования, напротив, прибор не подвергается риску, а протокол о 100%-ной проверке качества соединений будет очень полезен при сдаче ряда изделий заказчиком.

Программирование теста на сдвиг аналогично пулл-тесту, с единственным дополнением: в производстве силовой электроники зачастую применяются так называемые «шовные» соединения, когда один отрезок проволоки приваривается к кристаллу в нескольких местах для достижения лучших характеристик



Рис. 10. Пример выполнения «шовных» и S-образных петель в силовом модуле

прибора (рис. 10). Но и с этим условием программировать тест довольно просто, поскольку система автоматически вычисляет угол поворота плоского лезвия инструмента и направление движения стола. Особенно важно это в случае тестирования так называемых S-образных петель, у которых направление осей сварных соединений не совпадает с направлением оси самой петли.

Дополнительные удобства — никогда не лишние

Как правило, при проведении тестирования в ручном режиме оператор после каждого проведенного теста должен ввести в систему код полученного дефекта. При разрушающем пулл-тесте это пять возможных вариантов: отсутствие сварки на первой или второй точке, обрыв по пятке первой или второй точки и разрыв петли в центре. Квалификация каждого теста непосредственно после его выполнения вынуждает оператора подводить микроскоп или камеру к месту обрыва петли, ввести код в систему, а потом перемещаться обратно, к следующей тестируемой петле.

В автоматическом режиме определение полученного при тестировании результата может быть сделано после проведения всей сессии тестов: камера поочередно позиционируется над всеми тестируемыми петлями, причем оператору не нужно вообще знать номер и направление петли: система требует от него только ввести один из кодов и скомандовать «Далее». В случае, если проводилось неразрушающее тестирование, камера последовательно проходит только точки, не прошедшие тест, избавляя оператора от их рутинного поиска. Разумеется, все те же функции реализованы и для тестирования на сдвиг.

Немаловажен и улучшенный вариант системы статистического анализа полученных данных. Данные о каждой сессии тестов записываются на жесткий диск самой установки. Этого в ряде случаев недостаточно, и, поскольку формат данных представляет собой стандартную SQL базу, результаты тестов и рабочие программы могут храниться и обрабатываться на удаленном сервере. Программное обеспечение установки включает самые распространенные методы анализа данных: вычисление сРк, средних и среднеквадратичных отклонений, построение трендов, гистограмм и пр. Если заказчику требуется другое представление или более глубокая обработка данных, это может быть сделано с помощью стандартного программного обеспечения для удаленного анализа на любом ПК, подключенном к SQL базе данных установки. Это программное обеспечение выпускается в разных версиях, причем дизайн отчета заказчик может редактировать. Например, в него можно включить логотип предприятия и контактные данные и произвольно расположить графики, схемы и таблицы значений параметров. Отчет может включать или не включать те или иные данные, быть полным или кратким, в зависимости от цели составления. Кроме того, программное обеспечение установки содержит функцию экспорта данных в любой из форматов электронных таблиц, так что заказчик полностью свободен в подборе собственных инструментов анализа. Таким образом, база данных установки легко интегрируется в любой из стандартных СПС-сервисов для статистического анализа процессов, используемых заказчиками в своих системах обеспечения качества.

Неплохим дополнением к вышеназванным является функция фотоснимка тестируемого соединения до и после теста. Эти изображения могут быть использованы, например, при разработке технологических режимов и для обучения операторов установок сварки и контролеров службы качества. Изображения используются и для документирования результатов теста, и для составления руководств по качеству и рабочих инструкций, в особенности, если типичное изображение может служить «эталоном» того или иного дефекта. В особенности это интересно в случае тестирования толстой проволоки или шариков на сдвиг: имея эталонные изображения допустимого внешнего вида соединения после проведения теста, контролер может, во-первых, подтвердить, что тест проводился, а во-вторых, выявить ряд основных дефектов, судя по внешнему виду соединения после тестирования. Дефектами могут быть существенные нарушения симметрии, вырыв полупроводнико-



Рис. 11. Автоматическая установка монтажа кристаллов, тестирования и сварки F&K Delvotec серии WEGA 8000 (новое поколение универсальных микрофабрик)

вого материала («кратеринг»), недостаточная площадь соединения после теста и т. д.

В планах F&K Delvotec — активно развивать в своей программе направление контроля качества. Такое желание производителя — не маркетинговый прием, а насущная необходимость, ведь большинство заказчиков F&K Delvotec — производители вооружения, автомобильной электроники и приборов аэрокосмического назначения. В частности, в следующей версии программного обеспечения серии 56XX будет заложена функция визуального контроля и измерения высот петель, особенно полезная при выполнении неразрушающего теста на подъем крючком. Все эти дополнительные функции позволят существенно упростить статистический анализ процессов монтажа кристаллов и ультразвуковой сварки, сделав его более достоверным и качественным.

С выпуском уникальной тестовой головки компания F&K Delvotec сделала еще один шаг по пути создания бездефектного производства микроселектронных приборов. Отрадно, что фирма не сбавляет оборотов, и в 2009 году показала столь же впечатляющие новинки, что и в прошлые годы. Портфель заказов на 2009 г. не уменьшился, и только в Россию за 2009 год поставлено больше десятка надежных и удобных установок F&K Delvotec разных моделей. Следующим шагом развития фирмы станет новое поколение автоматических установок монтажа кристаллов серии 8XX WEGA (рис. 11). Эти машины также содержат ряд любопытных новых функций, о которых будет рассказано в следующей нашей статье. ■