

# ВЫРАВНИВАНИЕ МОНТАЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГОРЯЧИМ ВОЗДУХОМ ПРИ БЕССВИНЦОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*В условиях перехода электронной промышленности к бессвинцовой пайке предпочтительной технологией обслуживания монтажных поверхностей должен оставаться метод HAL (Hot Air Leveling), использующий выравнивание припоя горячим воздухом и сдувание его излишков для обеспечения высокого качества заключительных этапов изготовления печатной платы.*

Директива Европейского союза WEEE и Директива по ограничению использования опасных веществ RoHS (Directive on the Restriction Substances) содействуют распространению и многократному использованию материалов, не содержащих вредных для экологии веществ, и запрещают вещества, которые являются опасными для здоровья человека. Соответствующие законодательные акты приняты в Китае, в США (Калифорния) и в других регионах мира. Бессвинцовые припои используются в Японии уже в течение нескольких лет. Изготовители электронной продукции, планирующие обеспечить рынок Европейского Союза, должны будут исполнять Директивы WEEE и RoHS.

За время до 1 июля 2006, являющееся крайним сроком внедрения бессвинцовой технологии, должны быть проведены многочисленные испытания на соответствие производственных процессов изготовления электронной продукции Директиве RoHS. Таким исследованиям будут подвергнуты процессы изготовления печатных плат, использующие ENIG-технология, то есть никелевое покрытие, полученное химическим восстановлением иммерсионным золотом (ENIG – Electroless Nickel Immersion Gold), технологию погружения (иммерсионного серебра и иммерсионного олова) и метод органического покрытия (OSP). Метод выравнивания монтажных поверхностей горячим воздухом в бессвинцовой технологии изготовления печатных плат исключен из этих исследований. Такое положение может навести на мысль, что метод HAL в бессвинцовой технологии нежизнеспособен и не будет иметь места. Ничто не может быть дальше от правды, чем это предположение.

## БЕССВИНЦОВЫЕ СПЛАВЫ

В недавнем прошлом более 80% всей продукции печатных плат во всем мире были изготовлены с применением облужива-

вания монтажных поверхностей с помощью выравнивания горячим воздухом. Сегодня все еще более 60% всей производимой продукции PCB проходят через процесс HAL.

Из всех процессов, обеспечивающих возможность последующей высококачественной пайки плоского основания ("пустой платы") PCB, метод выравнивания горячим воздухом является: а) наиболее эффективным по критерию стоимости, б) обеспечивает высококачественную пайку основания PCB, с) обеспечивает изготовление изделия с превосходным сроком годности и d) обеспечивает изделие, совместимое с широким диапазоном производственных процессов изготовления (типа пайки волной припоя, технологии монтажа на поверхности печатной платы (Surface Mount Technology), выборочной пайки и т. д.). В конце концов, правильно говорят, что "ничто так не спаивает, как припой".

Для того чтобы бессвинцовая технология была успешной, необходимо использовать преимущества метода HAL. Наибольшая часть стоимости процесса HAL определяется припоем. Практике известны многочисленные бессвинцовые сплавы, разработанные под влиянием готовившегося законодательства Европейского Союза по введению Директив WEEE и RoHS.

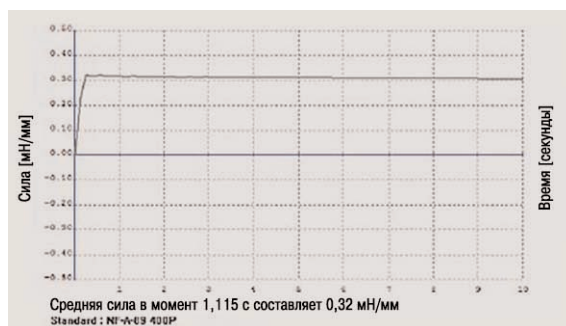


Рис. 1. Временная зависимость силы смачивания для сплавов типа 63/37 при температуре 250°C.

Таблица 1. Физические свойства сплавов.

	SAC305	Sn/Cu/Co	63/37
Точка плавления (°C)	217	227	183
Плотность (г/см <sup>3</sup> )	7,4	7,3	8,4
Рабочая температура (°C)	265	265	245

Многие из этих сплавов могут быть исключены из рассмотрения их пригодности по любому из следующих критериев: критерий стоимости, критерий доступности компонентов сплава, критерий совместимости с другими сплавами для пайки или совместимости с процессами пайки, критерий надежности.

Остающиеся в рассмотрении сплавы могут быть отнесены в одну из двух главных групп: 1) сплавы олово-серебро-медь и 2) сплавы олово-медь.

### СПЛАВЫ ОЛОВО-СЕРЕБРО-МЕДЬ

Эти сплавы содержат, как минимум, 95% олова, 1–4% серебра и 0,1–1% меди. Они известны как SAC-сплавы (SnAgCu). По составу эти сплавы изменяются в широких пределах, в зависимости от данного конкретного продавца. Из всех сплавов этой группы можно выделить как наиболее перспективный сплав SAC 305 (Sn/3,0/Ag/0,5Cu). Этот сплав имеет температуру плавления 217°C (по сравнению с температурой плавления 183°C для эвтектического (жидкая стадия) сплава олово-свинец). Разумный срок сохранения надежности и другие параметры также говорят в пользу этого сплава. Рекомендуемый рабочий диапазон температур для SAC 305 составляет от 255°C до 265°C.

### СПЛАВЫ ОЛОВО-МЕДЬ

Эти сплавы содержат более 99% олова и некоторое (изменяемое) количество меди.

Общепринятый эвтектический состав содержит 99,3% олова и 0,7% меди с температурой плавления 227°C. Однако опыт показывает, что сплав олово/медь при использовании процесса HAL имеет такие недостатки в качестве обработки плат, как слабое осветление (dull), повышенная зернистость, наличие больших кристаллов в покрытиях. До сих пор такие покрытия были свидетельством низкого качества PCB. Платы со слабым осветлением очень трудно паять на конечных стадиях сборки. По этой причине используются некоторые малые добавки, обеспечивающие снижение зернистости покрытий и включаемые в основной состав сплава олово/медь, чтобы увеличить осветление покрытий. Такими добавками, снижающими зернистость покрытия, являются элементы типа: кобальт, галлий, германий или никель. Примером такой добавки может быть кобальт в сплаве, имеющем состав 99,7Sn/0,3Cu/0,06Co с температурой плавления 227°C.

Несмотря на то, что имеется существенное различие (в 44°C) между точками плавления сплава, основанного на олове и меди, и сплава типа 63/37, фактическое различие в тем-

пературах процесса, в которых эти 2 сплава используются, составляет только 10–20°C. Рабочая температура сплавов олово/свинец обычно составляет 250–260°C, тогда как сплавы олово-медь-кобальт обрабатываются в машинах облуживания монтажных поверхностей с выравниванием вертикальными и горизонтальными струями горячего воздуха (при выполнении HAL-процесса) при температурах в диапазоне 260–270°C. В таблице 1 приведены физические свойства для некоторых бессвинцовых сплавов и сплавов олово-свинец.

### СТОИМОСТЬ БЕССВИНЦОВЫХ СПЛАВОВ

Почти все бессвинцовые сплавы заменяют свинец оловом, что почти удваивает их стоимость.

Ситуация для SAC-сплавов (SnAgCu) еще более существенна. SAC-сплавы содержат серебро, чтобы понизить точку плавления. Широко используемый сплав SAC 305 стоит в 3 раза дороже, чем сплав типа 63/37. Это свидетельствует о том, что переход к бессвинцовой технологии будет иметь некоторые трудности. Сплавы на базе олово/медь стоят на 30% дешевле сплава SAC 305, что определяет очевидный выбор производителей PCB по критерию стоимости в пользу сплавов олово-медь, которые могут подвергаться выравниванию горячим воздухом (проведению HAL-процесса) при облуживании монтажных поверхностей.

### ИССЛЕДОВАНИЯ БАЛАНСА СМАЧИВАНИЯ

Можно было бы предположить, что замена припоя на идеальный бессвинцовый припой приведет к результатам, сопоставимым с теми, которые имеют место при использовании припоя 63/37 олово-свинец в процессе выравнивания горячим воздухом, что обеспечит смачивание медных поверхностей в той же степени, что и припой 63/37 олово-свинец.

Испытания баланса смачивания припоем контактных площадок проводились со сплавом Sn/Cu/Co с целью определения наличия оптимальной температуры для смачивания. Результаты испытаний использовались для сравнения характеристик смачивания припоем Sn/Cu/Co и припоем типа 63/37. Испытание проводилось по методу Metronelec Wetting

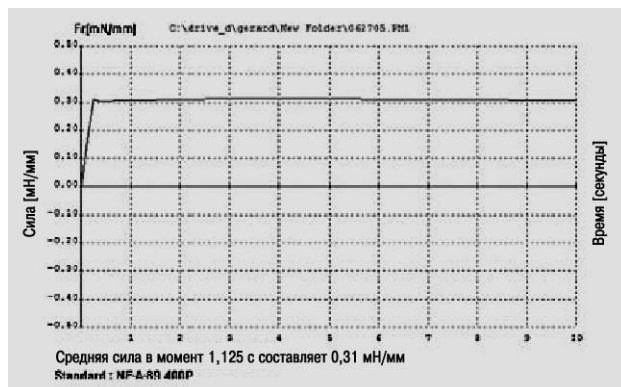


Рис.2. Средняя по двадцати испытаниям временная зависимость силы смачивания для сплавов 99,7Sn/0,3Cu/0,05Co при температуре 265°C.

Таблица 2. Сплав 63/37.

Температура	250°С
Максимальная сила смачивания	0,32 мН/мм
Время достижения максимального смачивания	0,241 с
Средняя сила на момент 1,125 секунд	0,32 мН/мм

Balance.

Испытания баланса смачивания сначала проводились при температуре 250°С для сплава 63/37, для которого эта температура является рекомендованной рабочей температурой, чтобы установить отсчетную величину, с которой можно сравнивать параметры смачивания, определяемые бессвинцовым сплавом. Затем испытания баланса смачивания проводились со сплавом Sn/Cu/Co при температурах 250° С, 255° С, 265° С и 275° С (см. таблицу 2).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Результаты измерений в течение 10 секунд на испытательном стенде показывают, что разница временных изменений между этими двумя группами весьма невелика.

Статистический анализ рассеяния параметров показывает, что параметры сплава 63/37 отличаются от параметров бессвинцового припоя при всех температурах. При более тщательном рассмотрении начального периода смачивания важно отметить, что процесс смачивания в течение двух секунд создает необходимый контакт припоя и позволяет применить выравнивание методом горячего воздуха. В идеальном сценарии смачивания начальный подъем скорости процесса смачивания к своему максимуму должен быть настолько крутым, насколько это возможно. Наклон временной зависимости процесса смачивания для сплава типа 63/37 почти равномерный на этапе своего подъема. Бессвинцовые сплавы при температуре 250°С и 255°С имеют более медленный начальный процесс смачивания. При температуре 265°С и 275°С скорость возрастания смачивания близка к идеальной форме.

У сплава типа 63/37 смачивание происходит мгновенно, повышая до максимума силу смачивания к моменту 0,241 секунды. Максимальная сила смачивания составляет 0,32 мН/мм смачиваемой длины поверхности.

Для сплава 99,7Sn/0,3Cu/0,06Cobalt при температуре 265°С смачивание происходит мгновенно. Скорость повышения силы смачивания равномерна, как и указывается в технических учебниках. Максимум силы смачивания немного ниже 0,31 мН/мм.

Таблица 3. Сплав Sn/Cu/Cobalt

Температура	250°С	255°С	265°С	275°С
Макс. сила смачивания [мН/мм]	-0.30	-0.30	>0.31	>0.31
Время достижения макс. силы смачивания [секунды]	-0.27	-0.26	-0.24	-0.24
Средняя сила смачивания в 1,125 с [мН/мм]	0.29	0.30	0.31	0.30

Для сплава 99,7Sn/0,3Cu/0,06Cobalt при температуре 275°С смачивание также происходит мгновенно. Скорость повышения силы смачивания очень похожа на ту, которая характерна для сплава типа 63/37. Максимум силы смачивания совсем немного ниже 0,31 мН/мм.

Характеристики смачивания для 99,7Sn/0,3Cu/0,06Cobalt могут быть использованы для имитации характеристик сплава типа 63/37 с увеличением рабочей температуры на 15–25°С. Увеличение предварительного нагрева в процессе производства может компенсировать требуемое температурное увеличение, что должно обеспечить управление скоростью растворения меди. Сила смачивания при увеличенной температуре также увеличивается, что приближает параметры сплава 99,7Sn/0,3Cu/0,06Cobalt к соответствующим параметрам сплава типа 63/37.

### ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ СПЛАВОВ ОТ НАЛИЧИЯ МЕДИ

Получены убедительные данные, показывающие, какое процентное содержание меди можно допустить в сплаве типа 63/37, содержащем олово-свинец, для проведения операции по методу HAL. Опыт, полученный в течение многих лет проведения операций HAL со сплавом олово-свинец, показал, что характеристики сплава изменялись в неблагоприятном направлении, когда медное содержание достигало приблизительно 0,5% при рабочих температурах между 250°С и 260°С.

К сожалению, такие данные пока еще не существуют для бессвинцовых сплавов. Эвтектический сплав олово-медь 99,3%Sn/0,7%Cu уже имеет медное содержание больше того, что можно допустить для процесса HAL, проводимого со сплавом олово-свинец.

С целью восполнения этого недостатка данных, компания Metallic Resources Inc провела экспериментальные исследования, чтобы определить наличие корреляции между свойствами бессвинцовых сплавов и свойствами сплава олово-свинец при различных уровнях медной концентрации. Пластины чистой меди идентичной формы и веса были введены и в сплав Sn/Cu/Co, и в сплав олово-свинец в ваннах для плавления сплавов при различных температурах. Температуры плавления в ваннах были экспериментально выбраны для имитации потенциальной рабочей температуры, имеющей место

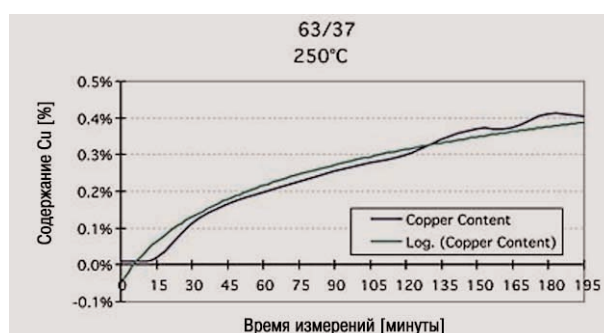


Рис. 3. Результаты испытаний для сплава типа 63/37 при температуре 250° С

Таблица 4. Результаты испытаний

Время (мин.)	Для сплава 63/37				Для сплава Sn/Cu/Co				
	225°C	250°C	260°C	270°C	255°C	260°C	265°C	270°C	275°C
0	0,005%	0,007%	0,007%	0,008%	0,383%	0,406%	0,383%	0,374%	0,397%
15	0,011%	0,016%	0,018%	0,099%	0,465%	0,546%	0,464%	0,449%	0,458%
30	0,013%	0,108%	0,122%	0,159%	0,490%	0,575%	0,548%	0,528%	0,514%
45	0,017%	0,163%	0,168%	0,217%	0,543%	0,627%	0,570%	0,582%	0,587%
60	0,017%	0,194%	0,215%	0,222%	0,534%	0,654%	0,610%	0,658%	0,693%
75	0,018%	0,224%	0,251%	0,314%	0,607%	0,668%	0,646%	0,701%	0,729%
90	0,141%	0,252%	0,279%	0,344%	0,633%	0,693%	0,708%	0,711%	0,826%
105	0,161%	0,275%	0,338%	0,365%	0,655%	0,714%	0,718%	0,741%	0,875%
120	0,174%	0,296%	0,343%	0,403%	0,683%	0,743%	0,751%	0,751%	0,918%
135	0,182%	0,338%	0,391%	0,412%	0,695%	0,761%	0,773%	0,806%	0,945%
150	0,196%	0,367%	0,398%	0,437%	0,703%	0,780%	0,807%	0,844%	0,974%
165	0,195%	0,370%	0,408%	0,455%	0,693%	0,782%	0,809%	0,893%	1,017%
180	0,206%	0,408%	0,445%	0,460%	0,702%	0,787%	0,824%	0,881%	-
195	0,211%	0,402%	0,444%	0,468%	0,707%	0,800%	0,838%	0,887%	-

при методе HAL. Спаянные части были погружены во вращающиеся ванны для сплавов на 15 минут. Медная пластина была удалена после 15 минут, и испытываемые образцы были изъяты из паяльной ванны. Спаянные образцы подвергнуты анализу с помощью эмиссионного спектрофотометра и затем были возвращены в паяльную ванну. В таблице 4 приведены обобщенные данные, полученные таким образом.

Представленные данные показывают скорость, с которой плавится медь в зависимости от температуры и существующей концентрации меди. Скорость плавления увеличивается при увеличении температуры и уменьшается при увеличении концентрации меди. Данные для двух рекомендованных рабочих температур (250°C для сплава типа 63/37 и 265°C для сплава Sn/Cu/Co) представляют особый интерес. Данные для этих двух сплавов при их рекомендованных рабочих температурах представлены в виде графических зависимостей и затем представлены в виде зависимости в логарифмическом масштабе.

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Анализ графической зависимости сплава типа 63/37 (рис. 3.) показывает быстрое начальное повышение скорости плавления к медной концентрации 0,1% и затем устойчивое повышение к концентрации 0,35%, после чего кривая выравнивается к почти равномерной скорости в 0,40%. Опыт работы в промышленности показал, что характеристики сплавов начинают ухудшаться при приближении к этому уровню мед-

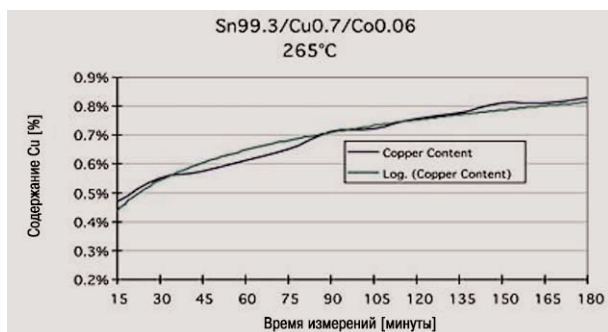


Рис.4. Результаты испытаний для сплава Sn99,3/Cu0,7/Co0,06 при температуре 265°C.

ной концентрации. Очень нежелательные результаты получаются, когда содержание меди в сплаве достигает 0,5%.

Экстраполируя зависимости, полученные для сплавов Sn/Cu/Co, можно ожидать получение удовлетворительных рабочих характеристик для сплавов, имеющих концентрацию меди до величины приблизительно 0,85%, и практически неудовлетворительных рабочих характеристик при концентрации меди более 1,0%, когда сплав поддер-

живается при рабочей температуре 265°C.

Некоторые другие примечательные наблюдения приводят к мысли, что медь плавится с намного более медленной скоростью для только что полученных сплавов Sn/Cu/Co с начальной медной концентрацией приблизительно 0,3%, чем для "свежих" сплавов типа 63/37 с нулевой концентрацией меди при всех температурах исследования. И ещё: и бессвинцовые сплавы, и сплавы типа 63/37 были чрезвычайно зернисты и пористы (sluggish) вблизи от точки насыщения.

**ВЛИЯНИЕ МЕДНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НА СОКРАЩЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПРИПОЯ**

Существует предположение, что чрезмерное количество меди можно было бы удалить из печатной платы (PCB), если использовать выравнивание монтажных поверхностей горячим воздухом (HAL-процесс), облуживаемых бессвинцовым припоем при высоком содержании олова и при более высоких температурах процесса.

Для определения справедливости этого предположения проведено исследование по применению выравнивания монтажных поверхностей PCB горячим воздухом с несколькими проходами. Исследования показали, что нет никакого различия в изменении параметров сплавов между Sn/Cu/Co и 63/37 при одинаковом количестве меди, удаленной из PCB.

Таблица 5. Зависимость уменьшения толщины слоя припоя от толщины слоя Cu при различном числе циклов обработки по методу HAL

Номер цикла обработки по методу HAL	Толщина слоя Cu [мил]		Уменьшение толщины [мил]	
	Sn/Cu/Co	Sn/Pb	Sn/Cu/Co	Sn/Pb
Изначально	0.8	1.0	0	0
1 цикл	0.8	0.9	0	0.1
2 цикла	0.7	0.9	0.1	0.1
3 цикла	0.6	0.8	0.2	0.2

При одном проходе по методу HAL из бессвинцового сплава было удалено меньше меди, чем из сплава типа 63/37. После двух проходов было удалено меди только 12,5% и 10% (соответственно из бессвинцового сплава и из сплава типа 63/37) и только 25% и 20% (соответственно) – после трех проходов по методу HAL (см. таблицу 5).

## СРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВОВ SN/CU/CO И SN/PB ПРИ ВЫРАВНИВАНИИ ГОРЯЧИМ ВОЗДУХОМ ПО МЕТОДУ HAL

Ранее было сказано, что процент PCB, изготовленных с использованием процесса HAL, снижается от 85% всех печатных плат в мире до 65% печатных плат, изготавливаемых в настоящее время. Это сокращение использования процесса HAL в качестве финишного процесса обработки PCB совпадает с существенным ростом использования технологии поверхностного планарного монтажа (SMT – Surface Mount Technology), который требует наличия плоских однородных (копланарных) поверхностей. Традиционный процесс выравнивания горячим воздухом покрытий олово-свинец был не способен обеспечить этот сегмент промышленности удовлетворительной копланарностью PCB.

Вопрос, который должен быть сформулирован относительно перспективы использования метода выравнивания горячим воздухом (HAL) при облуживании монтажных поверхностей в бессвинцовой технологии, состоит в следующем: "Как будут вести себя бессвинцовые печатные платы с копланарной поверхностью при использовании процесса HAL? Лучше, хуже или так же, как платы со сплавом олово-свинец при использовании метода HAL?" Ряд предварительных испытаний показал, что при использовании сплава Sn/Cu/Co получается немного более тонкий слой покрытия и более плоское (копланарное) покрытие, чем при использовании традиционной эвтектики олово-свинец. Эти результаты постоянно повторяются при всех испытаниях. Таблица 6 показывает результаты одного из таких испытаний, проведенных машиной, обеспечивающей выравнивание припоя на монтажной поверхности PCB с помощью горизонтальной струи горячего воздуха.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В период перехода электронной промышленности к бессвинцовой технологии метод выравнивания горячим воздухом (HAL-процесс) при облуживании монтажных поверхностей должен оставаться привилегированным методом обеспечения качественной пайки сохранения PCB. Затраты на проведение HAL-процесса несколько возрастут в результате использования более дорогого бессвинцового сплава, но метод HAL останется наиболее приемлемым по критерию эффек-

тивность/стоимость по сравнению с альтернативными методами заключительных этапов обработки PCB. Дополнительные преимущества HAL метода (обеспечение высококачественной пайки, долгий срок сохранности качества PCB и продолжительность срока службы) должны быть сохранены в условиях бессвинцовой технологии.

Изготовители печатных плат по бессвинцовой технологии смогут обеспечить с помощью HAL-процесса более тонкий слой облуживания монтажной поверхности, более осветленную и более плоскую (копланарную) поверхность платы, более качественное выравнивание припоя на поверхностях контактных площадок и монтажных отверстий по сравнению с возможностями, которые будут иметь их коллеги, использующие сплавы олово-свинец. Параметры процесса смачивания (по времени и по силе) будут не хуже (если не лучше), чем достигнутые ранее с эвтектическим (жидкая стадия сплава) сплавом олово-свинец.

### Моторола начала продажу индийских мобильных

Компания Motorola выпустила на рынок Индии первый мобильный телефон модели C115, разработанный на платформе C11x и являющийся массовым коммерческим телефоном для развивающихся рынков. C115 относится к категории мобильных телефонов стоимостью ниже \$40 и будет продаваться в Индии по этой же розничной цене. В настоящее время телефон C115 производится по контракту индийской компанией, не афиширующей себя. Motorola намерена запустить в Индии собственное производство, где будут выпускаться и другие модели мобильных телефонов.



Компания объявила о презентации изготовленных в Индии мобильных, но не сообщила подробности своих производственных планов.

Некоторые национальные телекоммуникационные компании, и в том числе компании Nokia и Samsung объявили о своих планах производства мобильных в Индии. Возможно, их планы сложились под влиянием решения крупного правительственного провайдера Bharat Sanchar Nigam'a, обслуживающего телекоммуникационную систему, принадлежащую правительству. Это решение обязывает своих поставщиков производить оборудование непосредственно в Индии или посредством заключения контрактов с производителями оборудования в этой стране.

К концу 2007 года индийское правительство планирует обслужить в стране 250 миллионов абонентов телефонной связи (как проводной, так и беспроводной), что позволит обеспечить охват телефонной связью до 22% населения Индии. Согласно информации, предоставленной Telecom Regulatory Authority, к концу ноября 2005 года страна насчитывала 120 миллионов абонентов телефонной связи, то есть охват составлял приблизительно 11%. Моторола уже имеет значительный объем разработанного программного обеспечения и обладает большим опытом проведения проектно-конструкторских работ в стране.

IDG News Service

Таблица 6. Статистические параметры измерений толщины покрытия при обработке по методу HAL.

	63/37 Panels	Sn/Cu/Co Panels
Число измеренных PCB	44	44
Среднее значение	169.6 мкдюйм	166.7 мкдюйм
Стандартн. девиация	65.6 мкдюйм	49.1 мкдюйм
Миним. значение	109.0 мкдюйм	102.0 мкдюйм
Максим. значение	486.7 мкдюйм	270.2 мкдюйм
Диапазон значений	377.7 мкдюйм	168.2 мкдюйм



### РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВЫБОРОЧНОГО НАЛОЖЕНИЯ ПАЯЛЬНОЙ ПАСТЫ

Быстрая ассимиляция технологии, использующей упаковку корпусов с шариковыми матричными выводами (BGA – Ball Grid Array), и других способов упаковки по технологии Area Array Package происходит благодаря тому, что этот тип упаковки позволяет увеличить количество точек ввода-вывода (I/O) на небольшой поверхности и, в то же время, создает такой шаг между проводниками, который обеспечивает простое изготовление печатных плат. Традиционный процесс сборки доказал свои возможности по минимизации отказов, но установка элементов, упакованных по технологии Area Array Package, может вызвать некоторые трудности. Монтаж элементов по технологии BGA и подобных ей продолжает вызывать споры, касающиеся технических преимуществ использования паяльной пасты вместо одного флюса. Использование только флюса в процессе монтажа соответствует BGA технологии крепления элементов и обеспечивает простоту этого процесса, тогда как крепление с использованием паяльной пасты опирается на данные, которые показывают, что такой процесс более надежен.

Проведены исследования, касающиеся сравнения обоих способов крепления. Результаты анализа подтверждают эффективность BGA методики по обеспече-

нию электрических параметров схемы и надежности закрепленных элементов. Представлены сравнительные данные недавнего исследования надежности при использовании обоих способов монтажа, выполненных по новой технологии трафаретной печати.

### КОНТРОЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ БЕССВИНЦОВОЙ РУЧНОЙ ПАЙКЕ

Могут ли бессвинцовые паяные соединения быть проведены при помощи паяльника и жала, ранее использовавшегося для оловянной/свинцовой пайки, без риска загрязнения свинцом бессвинцового припоя? Для ответа на этот вопрос необходимо знать те факторы, которые сопровождают процесс пайки. Использование оловянного/свинцового припоя при ручной пайке имеет довольно долгую историю. Изменения, вызванные вопросами экологии и подтвержденные законодательно, в наши дни вынуждают большинство производителей перейти к использованию бессвинцовых материалов и процессов, у которых нет продолжительной истории использования.

По сравнению с автоматизированным сборочным процессом ручная пайка занимает очень скромную позицию в общем объеме сборочных процессов. По этой причине основное внимание при внедрении бессвинцовой пайки уделяется именно автоматизированным процессам.