

Исследование реологических свойств паяльных паст

Паяльная паста — гомогенная, стабильная суспензия частиц порошка припоя во флюсе, в настоящее время это один из важнейших материалов для процесса поверхностного монтажа. Изменяя размер частиц порошка припоя, их форму и распределение по размерам, а также другие параметры, можно контролировать реологические свойства паяльной пасты. Поведение пасты в процессе нанесения очень важно, поскольку определяет производительность самого процесса. Цель данной работы — изучение реологических свойств паяльной пасты сплава SAC (Sn-Ag-Cu), предназначенной для поверхностного монтажа в электронной промышленности. В статье рассмотрены два ключевых субпроцесса нанесения пасты — заполнение апертур трафарета и отрыв трафарета от печатной платы. Исследование реологических профилей проведено с помощью системы «конус-плита» (рис. 1).

Михаль Кравчик
(Michal Kravčík)
Игорь Верец
(Igor Vehec)

Перевод: Виталий Щекин

info@alphametals.ru

Введение

Паяльная паста используется для присоединения поверхностно-монтажных компонентов к площадкам на печатной плате. Операция нанесения выполняется с помощью трафарета и металлического ракеля или методом дозирования. Большинство дефектов при монтаже электронных изделий возникает из-за неверных параметров процесса трафаретной печати либо недостатков паяльной пасты. Производитель электроники должен иметь очень хорошее представление о процессе нанесения пасты, особенно о ее свойствах, чтобы избежать высоких расходов на исправление дефектов. Характеристики пасты, такие как вязкость и содержание флюса, должны проверяться тестами выходного контроля. Один из подходов, уже опробованных изготовителями, — сокращение размеров частиц порошка припоя, что позволяет облегчить прохождение пасты через очень маленькие апертюры трафарета.

Тем не менее уменьшение размера частиц радикально влияет на реологические свойства пасты и как следствие — на поведение пасты в процессе трафаретной печати. В данной работе описаны три «рецепта» паяльных паст с точки зрения использования при трафаретной печати.

Текущая технология поверхностного монтажа (SMT) требует трафаретной печати паяльной пасты. Этот материал представляет собой смесь порошка припоя, флюса и различных добавок, улучшающих реологические и другие характеристики паяльной пасты.

Для обеспечения высокого качества печати паста должна легко перекачиваться по трафарету, хорошо проходить через апертюры и сохранять форму отпечатка после нанесения.

Метод характеристики паяльной пасты необходимо разработать так, чтобы предсказать ее эффек-

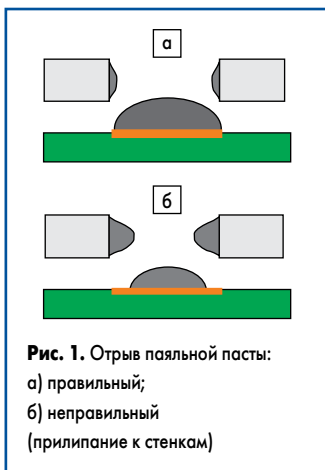
тивность при трафаретной печати. Было отмечено, что вязкость материала и его текучесть очень важны в данном процессе и должны быть измерены.

Паяльная паста — один из наиболее широко используемых материалов для образования электрического соединения между электронными компонентами и печатной платой. Паста может быть классифицирована как однородная и плотная взвесь частиц припоя в жидком флюсе, обычное содержание металла по весу составляет от 88 до 91%, а по объему — от 30 до 70%. Наиболее часто из бессвинцовых материалов используются сплавы на основе SAC. Основой для флюса чаще всего становятся модифицированная канифоль или синтетические смолы. Канифоль применяется для очистки спаиваемых поверхностей от загрязнений и оксидов и облегчения смачивания поверхностей расплавленным припоем. Ряд различных ингредиентов, включая растворители, активаторы, загустители, тиксотропные агенты, вещества для повышения клейкости, добавляются во флюс, чтобы обеспечить желаемые реологические свойства паяльной пасты [2].

Основные параметры для характеристики реологических свойств

Вязкость

Тиксотропность паяльных паст исследована с помощью испытаний, основанных на тестах скорости сдвига, при которых материалы были подвергнуты линейному сдвигу, возрастающему от 0 до 32 об/с в течение 600 с. Для измерения вязкости жидкостей необходимо определить и обеспечить параметры для тестирования, что позволит вести измерения объективно и воспроизводимо. Исаак Ньютон был первым, кто сформулировал первый закон вискозиметрии, описывающий поведение потока идеальной жидкости. Он определил вязкость жидкости (Па·с)



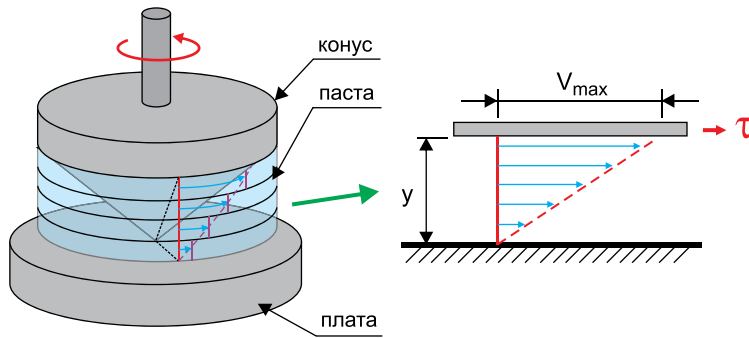


Рис. 2. Принцип модели «конус на плате»

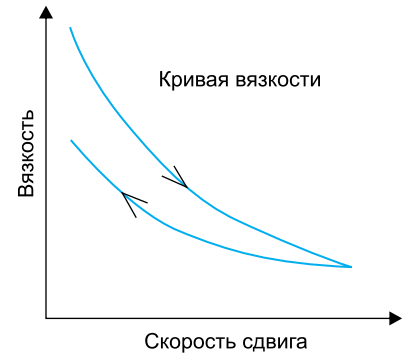


Рис. 4. График, описывающий тиксотропность

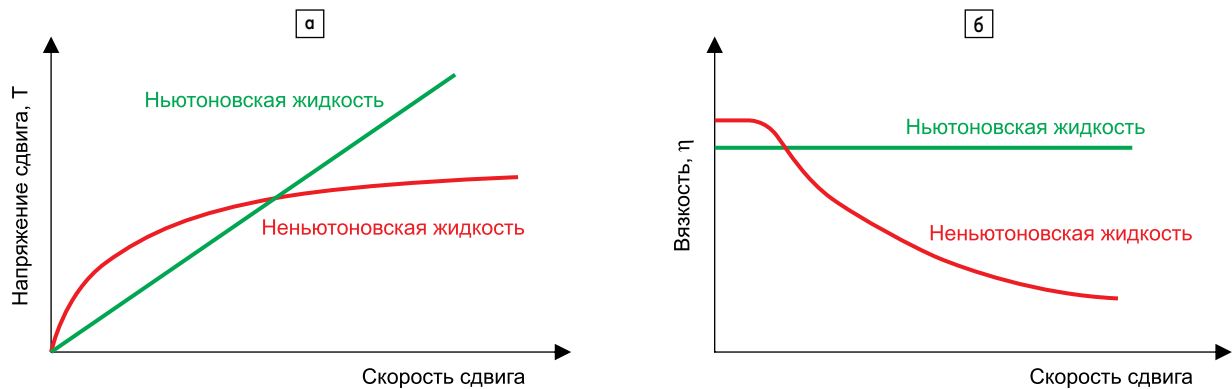


Рис. 3. Кривые: а) потока; б) вязкости

как отношение напряжения сдвига к скорости сдвига [3]:

$$\eta = T/D, \quad (1)$$

где T — напряжение сдвига; D — скорость сдвига.

Модель «конус на плате» помогает определить оба параметра — напряжение сдвига и скорость сдвига (рис. 2).

Напряжение сдвига

Сила сдвига F , приложенная параллельно к поверхности раздела пластины и жидкости, приводит жидкость в движение. Скорость этого движения, которая может быть достигнута при данной приложенной силе, определяется внутренним сопротивлением жидкости, то есть ее вязкостью [3]:

$$T = F/A, \quad (2)$$

где F — сил сдвига (Н); A — площадь (m^2).

Скорость сдвига

Напряжение сдвига заставляет жидкость течь определенным образом (рис. 26). Максимальная скорость v_{max} достигается в верхнем слое. Скорость падает в направлении оси y и становится равной нулю в слое, контактирующем с неподвижной пластиной. Ламинарное движение означает, что бесконечно тонкие слои жидкости скользят относительно друг друга как карты в колоде, не перемешиваясь. Скорость движения каждого слоя лишь незначительно отличается

от скоростей соседних слоев. В общем случае скорость сдвига ($1/c$) можно определить как дифференциал [3]:

$$D = dv/dy. \quad (3)$$

В случае линейного изменения скорости сдвига дифференциал можно заменить отношением:

$$D \approx v_{max}/y. \quad (4)$$

Тиксотропность и реология паяльной пасты

Тиксотропность определяется как «память» жидкости (или, как в нашем случае, паяльной пасты), при которой вязкость жидкости зависит от недавней истории течения, а не только от силы, приложенной к ней.

Реология — термин, описывающий вязкость и поверхностное натяжение паяльной пасты или адгезивов. Типичные показатели вязкости паяльных паст находятся в диапазоне от 10 до 1000 Па·с. Паяльная паста ведет себя как неньютоновская жидкость при измерении напряжения сдвига. Вязкость может быть определена как отношение напряжения сдвига к скорости сдвига (1). Сравнение поведения и вязкости ньютоновской и неньютоновской жидкости показано на рис. 3.

Материалы, состоящие из сложных органических молекул, имеющих в своем составе функциональные группы, способны к межмолекулярному взаимодействию и проявлению специфических свойств. Подобные эффекты также способны возникать в результате взаимодействия между твердыми частицами,

например сферами припоя в пасте. Для подобных материалов тиксотропия может быть исследована с помощью эксперимента по скорости сдвига (параллельно плоскости пластины), в котором измеряется скорость сдвига при частоте от 0 до 100 сдвигов в секунду и в обратном порядке — от 100 до 0. Тиксотропность численно равна площади между восходящей и нисходящей кривой скорости сдвига. По ней можно судить о межмолекулярном взаимодействии и взаимодействии между частицами припоя в пасте. Кривая, обычно называемая реограммой, изображена на рис. 4. Другой известной особенностью реограммы является начальное увеличение вязкости, в то время как напряжение сдвига увеличивается без значительного повышения скорости сдвига, и лишь позже наблюдается сдвиг.

Смесь органических химических соединений, называемая нами «флюс», обычно является коммерческой тайной и/или защищена патентами. Назначение флюса — придание паяльной пасте пластичности, обеспечение отсутствия оксидов в точке пайки до момента формирования металлического соединения. Реологические свойства паяльной пасты во время трафаретной печати представлены на рис. 5.

Проведение эксперимента

Работа основана на исследовании реологических характеристик паяльных паст, разработанных для трафаретной печати с малым шагом (fine pitch). Первая часть посвящена рассмотрению реологических характеристик

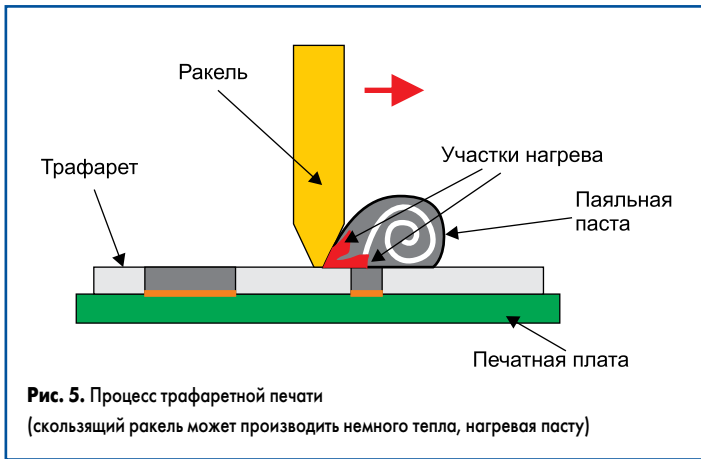


Рис. 5. Процесс трафаретной печати (скользящий ракель может производить немного тепла, нагревая пасту)

образцов паяльной пасты. Для этих целей проведено два различных теста, включая зависимость вязкости от температуры и зависимость тиксотропности от времени использования. В данной публикации приведена лишь выдержка из большого исследования с полученными результатами.

Образцы паяльной пасты

В эксперименте были исследованы три доступные на рынке бессвинцовые паяльные пасты (обозначены P1, P2 и P3). Все они позиционируются как бессвинцовые, безгалогеновые паяльные пасты на основе сплава SAC. Все пасты имеют одинаковый диапазон размеров частиц (25–45 мкм) и содержат 88,5% металла по весу. Диапазон плавления образцов P1 и P2 составляет +217...220 °С, диапазон плавления образца P3 находится в пределах +217...234 °С. Параметры паст сведены в таблице [4–6].

Измерение параметров реологии

Реологические измерения были проведены с помощью вискозиметра НААКЕ с комплектом датчиков РК100В и измерительного комплекса RV20. Принцип измерения показан ранее на рис. 2. Особое внимание было уделено загрузке пасты в измерительный модуль. Для каждого измерения использованы новые образцы паяльной пасты из емкости. Это потребовалось потому, что паста выдавливалась из пространства между пластиной и конусом при длительных измерениях. Кроме того, таким образом были

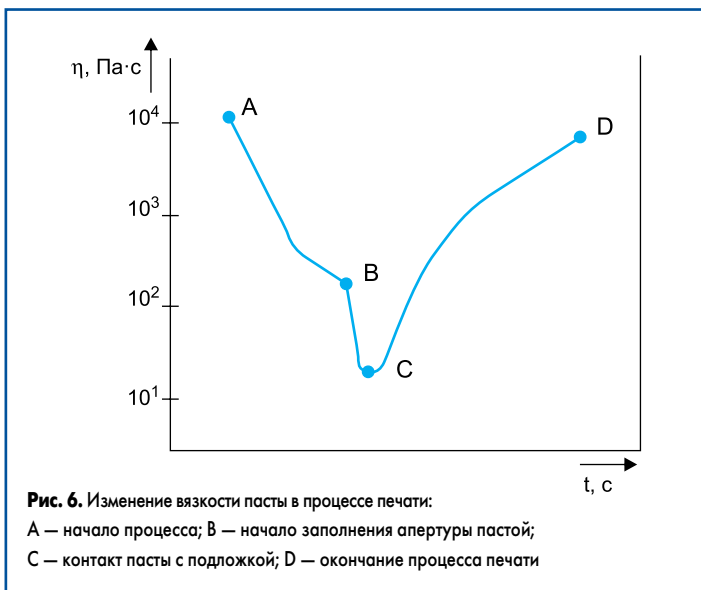


Рис. 6. Изменение вязкости пасты в процессе печати:
А — начало процесса; В — начало заполнения апертуры пастой;
С — контакт пасты с подложкой; D — окончание процесса печати

Таблица. Параметры паяльных паст

Паста	Диапазон размера частиц, мкм	Содержание металла, % вес	Диапазон температуры плавления, °С	Тип флюса	Сплав
P1	25–45	88 ± 0,5	+217...220	F1	SAC305
P2		88,5	+217...220	F2	SAC305
P3		88,5	+217...234	F3	SACX0307

обеспечены одинаковые условия измерения. Перед началом теста образец оставляют на период не менее 1 минуты для снятия внутреннего напряжения и достижения требуемой температуры. Для каждого измерения повторялись одинаковые условия при загрузке образцов, и поддерживалась одинаковая температура в течение всего эксперимента.

Результаты и обсуждение

Результаты тестов вязкости

Условия проведения тестов:

- угол наклона платы: 1°;
- диаметр конуса: 20 мм;
- скорость сдвига: 0–30 1/с;
- диапазон температур: +20...30 °С;
- длительность: 60 с.

Как показано на рис. 7, у всех паст наблюдается снижение вязкости при увеличении температуры. Максимальное уменьшение вязкости наблюдается у образца P3, из чего можно сделать вывод о большей температурной чувствительности данной пасты. Образец P2 имеет наименьшее изменение вязкости при увеличении температуры. Вязкость имеет более стабильное значение, что позволяет рассчитывать на большую стабильность при трафаретной печати, так как в процессе скольжения ракеля по трафарету может выделяться определенное количество тепла, разогревающее пасту.

Изучение реологических свойств паяльной пасты помогает лучше понять ее поведение на трафарете в процессе трафаретной печати. Для нашего эксперимента мы выбрали образец P1. Зависимость вязкости от скорости сдвига показана на рис. 8.

Мы наблюдаем, что изменение температуры определенно влияет на вязкость паяльной пасты, что лучше видно на рис. 9. Небольшое (в сравнении с трафаретной печатью) изменение скорости сдвига влечет за собой большее изменение вязкости при меньшей температуре.

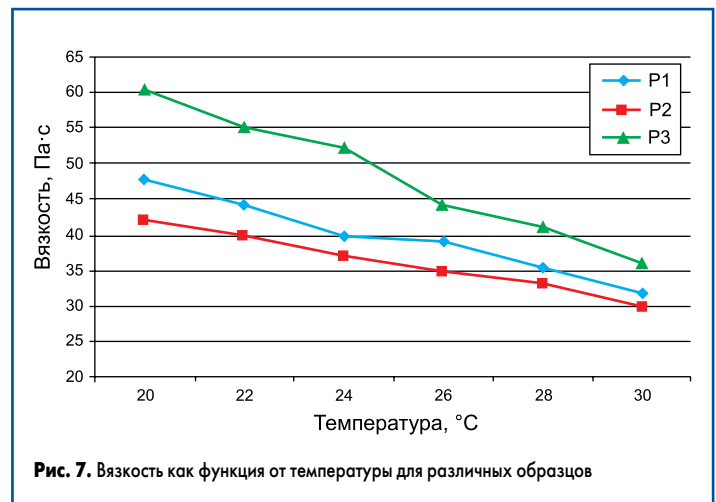


Рис. 7. Вязкость как функция от температуры для различных образцов

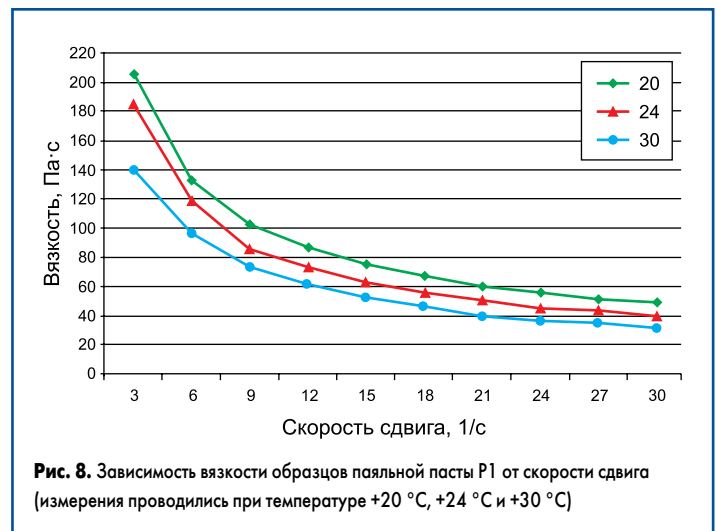
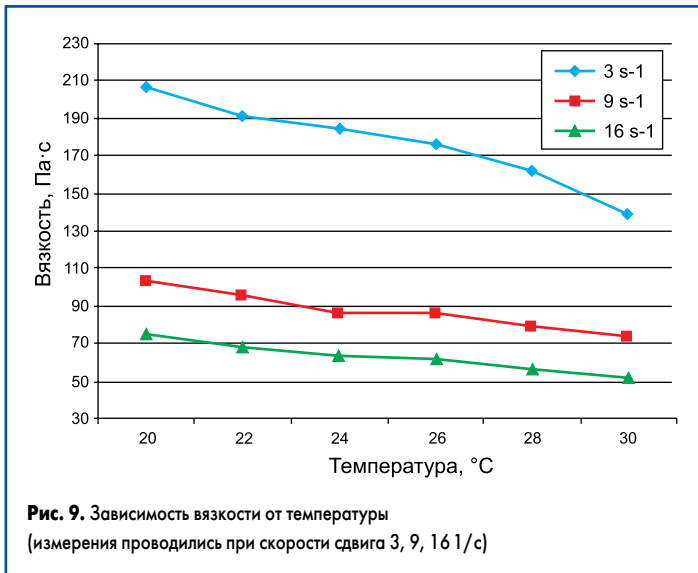


Рис. 8. Зависимость вязкости образцов паяльной пасты P1 от скорости сдвига (измерения проводились при температуре +20 °С, +24 °С и +30 °С)



Вязкость снижается более чем на 30%, когда температура повышается от +20 до +30 °C при скорости сдвига 3 1/с.

На рис. 10 представлены кривые текучести для образцов P1, P2 и P3, показывающие зависимость вязкости от скорости сдвига. Все образцы имеют нисходящий тренд при ускорении вращения конуса в измерительном комплексе. Образец P1 продемонстрировал самую большую вязкость при низкой скорости сдвига, однако при увеличении скорости образец пасты P3 показал наименьшее изменение вязкости. Различия в максимальной вязкости для образцов паяльной пасты могут быть отнесены к различиям в используемых флюсах. Можно предположить, что паста P3 имеет меньшую зависимость от скорости печати и при использовании она может быть более стабильна, чем пасты P1 и P2.

Результаты исследования тиксотропности

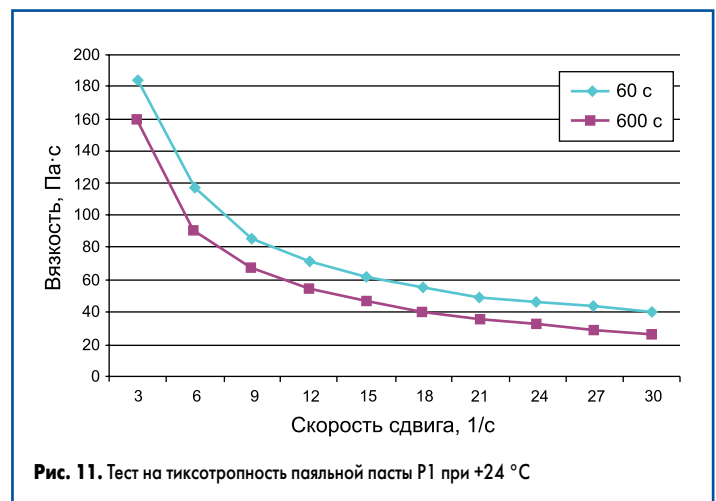
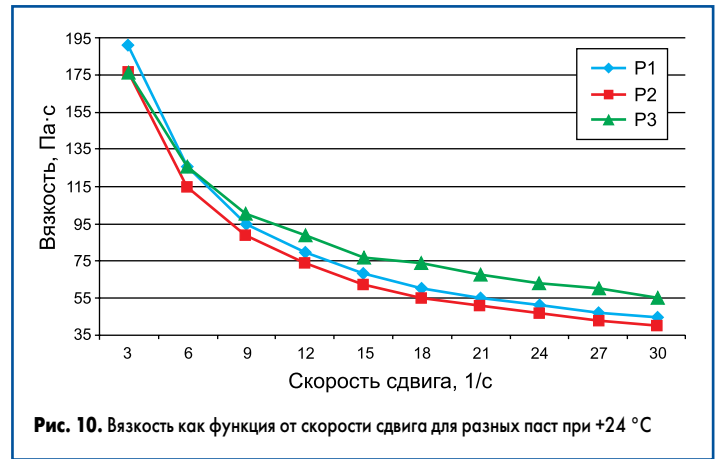
Параметры теста:

- угол наклона платы: 1°;
- диаметр конуса: 20 мм;
- скорость сдвига: 0–30 1/с;
- температура: +24 °C;
- длительность: 60 и 600 с.

Результаты испытаний тиксотропности представлены на рис. 11 для образца паяльной пасты P1. График демонстрирует зависимость вязкости как функцию от времени (60 и 600 с). Обе кривые имеют восходящий тренд, но кривая «600 секунд» при измерениях оказывается ниже, как и ожидалось. Более длительное время теста делает пасту более текучей, что подтверждает информацию о том, что вязкость также зависит от времени приложения силы на сдвиг и паста имеет эффект памяти.

Заключение

В исследовании паяльные пасты показали себя текучими, тиксотропными и разжижающимися при длительном воздействии силы. Вязкость



паяльной пасты уменьшается с ростом температуры, а также при увеличении скорости сдвига. Создание точных методов измерений параметров паяльной пасты поможет нам получить реальные реологические свойства паяльных паст и избежать трудностей, возникающих при количественной оценке параметров с помощью вискозиметра.

Литература

1. Mallik S., Thieme J. Study of the Rheological behaviors of Sn-Ag-Cu Solder paste and their Correlation with Printing Performance. Electronics Packaging Technology Conference, 2009.
2. Ekere N. N., Marks A. E., Mallik S., Seman S. Modeling the Structure Breakdown of Solder Paste Using the Structural Kinetic Model. Journal of materials Engineering and Performance, February, 2010.
3. Schramm G. Introduction to Practical Viscometry. HAAKE Viscometers, 1981.
4. Ecorel Free 305-6 Datasheet // <http://www.inventec.dehon.com>
5. ALPHA OM-338 Technical Bulletin // www.alphametals.com/products
6. ALPHA CVP-360 technical Bulletin // www.alphametals.com/products