



## ОСОБЕННОСТИ ТРАФАРЕТНОЙ ПЕЧАТИ И СБОРКИ В ПАКЕТ НЕОБОЖЖЕННОЙ КЕРАМИКИ

С. Чигиринский, к.ф.-м.н., В. Черных, Е. Штупар /  
micro@ostec-group.ru

Керамика для электроники вызывает значительный интерес в России, что связано с характеристиками и универсальностью обработки этого материала. Из него, в частности, изготавливаются: компоненты и устройства, в том числе для СВЧ-устройств (низкотемпературная керамика, LTCC), корпуса (высокотемпературная керамика, HTCC), многослойные конденсаторы (MLCC). В статье компании "Остек" обсуждается данный вопрос.

**П**реимущества алюмооксидной керамики: химическая и термическая стабильность (инертность к кислотным и щелочным средам, сохранение свойств до 600°C), высокие теплопроводность и твердость (8 по Моссу), низкие диэлектрические потери, радиационная стойкость, плотность и герметичность изделий из конечного продукта.

Целесообразно рассмотреть нанесение топологии проводников на керамические подложки и их сборку в пакет с использованием принтера – стекера PAL-9Y (рис.1), причем, в многослойной керамике трафаретная печать и сборка производятся на необожженном (зеленом) материале [1]. Установка PAL-9Y применяется в основном для производства пассивных компонентов, например многослойных керамических конденсаторов. При разработке продукта необходимо помнить, что точность печати и окончательной сборки определяется точностью позиционирования рабочих узлов оборудования, особенностями материала и технологическими параметрами. Точность позиционирования включает:

- повторяемость позиционирования одиночной палеты-носителя (рабочего стола/плиты), сдвига трафарета;
- параллельность и плоскостность прессовальной плиты;
- механическую повторяемость прочих параметров с минимальным влиянием на точность печати.

Финальная точность, в первую очередь, зависит от подбора параметров, которые вносят в нее значительно больший вклад, нежели перемещение

## SPECIFIC FEATURES OF SCREEN PRINTING AND PACKAGE ASSEMBLY OF UNBURNT CERAMICS

S.Chigirinsky, PhD, V.Chernykh, E.Shtupar /  
micro@ostec-group.ru

Ceramics for electronics evoke great interest in Russia, which is due to the characteristics of the material and universality of its processing. In particular, it is used for manufacture of components and devices, including microwave frequency devices (LTCC – Low Temperature Co-fired Ceramics), cases (High Temperature Co-fired Ceramics) and multi-layer condensers (MLCC). This is the topic for discussion in the article by Ostec Co.

**A**dvantages of alumina ceramics: chemical and thermal stability (inertness to the acid and alkaline environments, preservation of its properties at temperatures up to 600°C), high heat conductivity and hardness (8 by Mohs), low dielectric losses, radiation resistance, density and tightness of the goods from the end-product.

It would be expedient to discuss application of the conductor topology on ceramic substrates and their assembly into a package with the use of PAL-9Y printer-stacker (Fig.1), at that, in multi-layer ceramics the



Рис.1 Принтер-стежер PAL-9Y  
Fig.1 PAL-9Y Printer-stacker



или поддержание параметров машины. Например, неправильно заданное давление при прессовании приводит к рассовмещению по осям или разрушению компонента, хотя оборудование сохраняет собственную точность позиционирования и совмещения.

На точность сборки также влияют трафарет, параметры процесса печати, характеристики пасты и керамической ленты.

### ВЛИЯНИЕ ТРАФАРЕТА НА ПРОЦЕСС ПЕЧАТИ

На большинстве производств используются сетко-трафареты 325 и 400 меж (число ячеек на дюйм), которые выбираются в зависимости от требований конечного продукта. На качество нанесения рисунка в основном влияют окно сетки, толщина проводника и способ изготовления трафарета. Если использовать трафареты, выполненные с помощью фотоэмульсии, невозможно получить ровные края проводника (рис.2). Для трафарета 325 меж неровность (зигзаг) края составляет 20 – 30 мкм, для трафарета 400 меж – 5 – 10 мкм. Для уменьшения данного эффекта следует соотносить конфигурацию дорожек и направление нитей сетки в трафарете (стандартно используемые углы: 0° и 45°), причем необходимо применять максимальное количество совпадений углов элементов топологии рисунка и нитей трафарета.

При изготовлении трафаретов с использованием фоточувствительных пленок эффект отсутствует, но такие трафареты непригодны для тонких рисунков из-за дополнительной толщины пленки. При сборке пакета (стека) при использовании качественного трафарета зигзаг не сильно влияет на позиционирование. Это называется виртуальной разориентацией, которую необходимо учитывать, если требуется точность порядка нескольких микрометров. При трафаретной печати существует еще одна проблема – удлинение трафарета в направлении движения ракеля (рис.3).

На изменение длины трафарета влияют:

- окно сетки;
- размеры рамки трафарета;
- площадь печати;
- натяжение трафарета (новые трафареты – удлинение меньше, использованные – больше);
- однородность натяжения трафарета определяет форму удлинения;
- тип ракеля (полиуретановый обеспечивает более однородное удлинение по сравнению с алмазным);
- усилие на рапель (чем оно больше, тем больше удлинение);
- линейность рабочей части ракеля (влияние на форму удлинения);

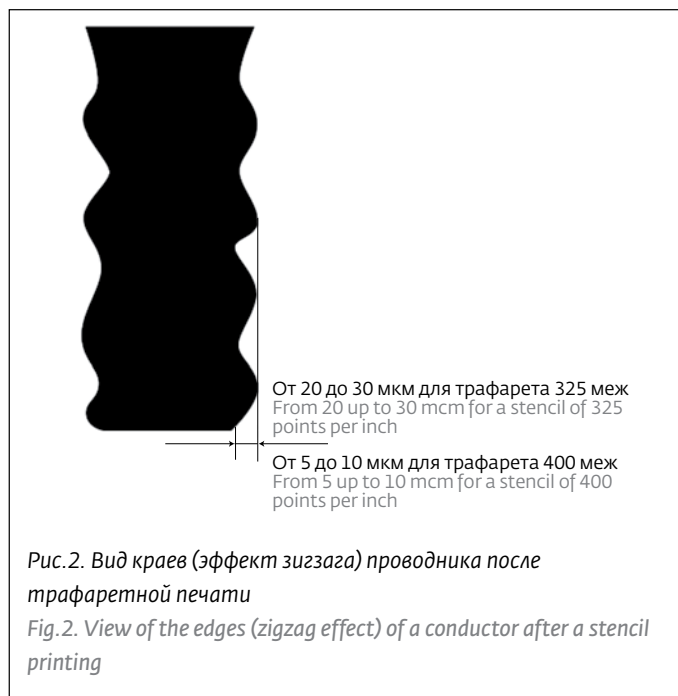


Рис.2. Вид краев (эффект зигзага) проводника после трафаретной печати

Fig.2. View of the edges (zigzag effect) of a conductor after a stencil printing

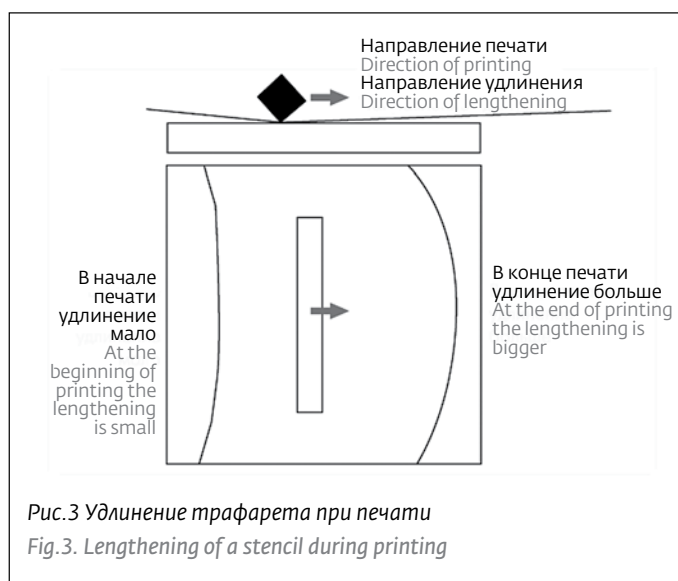


Рис.3 Удлинение трафарета при печати

Fig.3. Lengthening of a stencil during printing

screen printing and assembly are done on an unburnt (green) material [1]. PAL-9Y installation is mainly used for manufacture of passive components, for example, multilayered ceramic condensers. During development of a product it is necessary to remember, that precision of printing and final assemblage are determined by the accuracy of positioning of the working units of the equipment, specific features of a material and technological parameters. Accuracy of positioning includes:

- Repeatability of positioning of a single pallet of a carrier (a working table/plate), screen shift;
- Parallelism and flatness of a pressing plate;

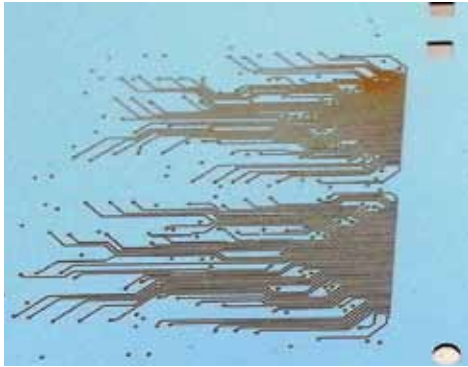


Рис.4. Пример печати тонких проводников  
Fig.4. Example of printing of thin conductors



Рис.5. Пример дефектов (обведены красным) при печати через тонкую сетку после обжига (проводник/зазор – 100 мкм)  
Fig.5. Example of defects (outlined by red color), which appear during printing through a thin grid after burning (conductor/gap – 100 micrometers)

- параллельность ракеля плоскости печати (влияние на форму удлинения).

Если трафарет выполнен на пленке, удлинение незначительное, если на эмульсии – большое. При использовании лучших трафаретов и специальных паст трафаретная печать позволяет получить размер проводник-зазор 50 мкм (рис.4), что достижимо только в лабораторных условиях. В реальном производстве можно получить минимальный размер проводник-зазор – 100 мкм. Максимальное число ячеек на дюйм, доступное на рынке, 600 меж. Сетки сплетены из тонкой проволоки и быстро вытягиваются даже при малых усилиях на rakel. При их использовании важен прецизионный контроль усилия и равномерность его распределения. Расстояния между нитями проволоки в сетке малы, поэтому малые отверстия легко забиваются пастой.

- Mechanical repeatability of the other parameters with a minimal influence on the accuracy of printing.

Final accuracy, first of all, depends on selection of the parameters, which bring a considerably bigger contribution to it, than just moving or keeping parameters of a machine. For example, an incorrectly set pressure for pressing leads to misregistration by axes or destruction of a component, although the equipment preserves its own accuracy of positioning and register. The accuracy of assemblage is also influenced by a stencil, parameters of the printing process, characteristics of paste and ceramic tape.

### INFLUENCE OF A STENCIL ON THE PRINTING PROCESS

Most productions use grid-stencils of 325 and 400 points per inch, which are selected depending on the requirements to the final product. The quality of patterning depends on the grid window, thickness of a conductor and method for manufacture of a stencil.

If stencils made with the help of photoemulsion are used, it is impossible to obtain even edges of the conductor (Fig.2). For a stencil of 325 points per inch the unevenness (zigzag) of the edge equals to 20 – 30 microns, for a stencil of 400 points per inch – 5 – 10 microns. In order to reduce the given effect it is necessary to correlate the configuration of the paths and direction of the grid threads in a stencil (the standardly used angles are 0° and 45°), at that, it is necessary to achieve the maximum number of coincidences of the angles of topology elements of a drawing and stencil threads.

If stencils are manufactured with the use of photosensitive films, the effect is absent, but such stencils are unsuitable for thin drawings because of an additional thickness of a film. During assemblage of a package (stack) with the use of a quality stencil the zigzag does not have a strong influence on positioning. This is called a virtual off-orientation, which should be taken into account, if accuracy of several micrometers is required. The stencil process (screen printing) has one more problem – stencil lengthening in the direction of movement of squeegee (Fig.3).

The change of a stencil's length depends on:

- Grid window;
- Size of a stencil framework;
- Printing area;
- Stencil tension (new stencils – the lengthening is less, used stencils – the lengthening is bigger);
- Uniformity of a stencil's tension (determines the form of lengthening);
- Type of a squeegee (diamond squeegee, polyurethane squeegee ensures a more homogeneous lengthening than the diamond one);



Проводник, попавший на перекрестие двух проводов в сетке, имеет в данной точке меньшую толщину. Вместе с частичной миграцией серебряной пасты (диффузия в керамику), имеющей место при спекании, возникают дефекты (рис.5).

Толщины паст, наносимых через тонкие трафареты, малы. Иногда печать необходимо повторять несколько раз, чтобы после спекания получить приемлемые толщины проводников и необходимые электрические параметры.

### ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НА ПРОЦЕСС ПЕЧАТИ

Рассмотрение допусков, определяемых процессом печати, должно наглядно показать трудности их соблюдения и влияние на погрешности геометрических размеров и взаимного расположения элементов. При печати сетка прогибается ракелем до соприкосновения с подложкой и испытывает обратимое удлинение, зависящее от положения ракеля. Растяжение трафарета поперек движения ракеля почти не зависит от его положения. Так как используются жесткие рамы, удлинения воздействуют исключительно на трафарет, искажая рисунок схемы. Благоприятное воздействие оказывает упругое крепление трафарета (пневматическое натяжение, эластичные прокладки), а также его размеры, которые по сравнению с рисунком печатной платы относительно велики [2].

При печати сетчатый трафарет из-за силы трения, вызываемой движением ракеля, подвергается дополнительному растягивающему воздействию. Сила трения зависит от большого числа факторов (материал трафарета, открытая поверхность, вязкость и состав пасты, твердость и заточка ракеля) и характеризуется удельным коэффициентом трения трафарета.

Исследования на производстве позволили установить относительные погрешности топологии по сравнению с рисунком трафарета в продольном и поперечном направлениях:

$$\frac{l_{р.и.} - l_{р.тр.}}{l_{р.тр.}} = (0,5...1,5) \cdot 10^{-3} ,$$

где  $l_{р.и.}$  – длина контрольного участка рисунка изделия;  $l_{р.тр.}$  – длина контрольного участка рисунка трафарета.

Удлинения сетчатого трафарета оказывают большее влияние на погрешность взаимного расположения элементов рисунка изделия, чем на погрешность формы его элементов. Величина, на которую расширяется при печати такой элемент изделия из-за растекания пасты, зависит от параметров:

- вязкости, которая из-за испарения растворителя изменяется со временем;

- Effort on a squeegee (the bigger it is, the bigger is lengthening);
- Linearity of the working part of a squeegee (influence on the form of lengthening);
- Parallelism of a squeegee to the printing plane (influence on the form of lengthening).

If a stencil is made on a film, the lengthening is insignificant, if on an emulsion, than it is greater. The best stencils and special pastes allow us to get the conductor/gap size equal to 50 micrometers (Fig.4), which is possible only in laboratories. In real productions the minimal achievable size of a conductor/gap is 100 micrometers.

The maximal number of cells per one inch available in the market is 600 (units). The grids are weaved from a thin wire and extended quickly even with a small effort applied on a squeegee. During their use of great importance are a precision control of the effort and uniformity of its distribution. The spacing between the grid wires is very little, therefore, small apertures are easily jammed with paste. The conductor, which is in the crosshair of two wires in a grid, has the smallest thickness in the given point. Due to a partial migration of a silver paste (diffusion in the ceramics), which happens during sintering, defects appear (Fig.5).

The thickness of the pastes put through thin stencils is small. Sometimes the printing process has to be repeated several times in order to obtain after sintering the acceptable thickness of the conductors and the necessary electric parameters.

### INFLUENCE OF THE MODES ON THE PRINTING PROCESS

Consideration of the tolerances determined by the printing process should demonstrate visually the difficulties of their observance and influence on the errors of the geometrical sizes and relative positioning of elements. During printing the grid is sagged by the squeegee up to a contact with a substrate and is subjected to a reversible lengthening, which depends on the position of the squeegee. Stretching of a stencil across the movement of the squeegee almost does not depend on its position. Since rigid frames are used, the lengthening influences exclusively the stencil, deforming the scheme drawing. A favorable influence is rendered by the elastic fastening of the stencil (pneumatic tension, elastic cushions), and also by its dimensions, which in comparison with the printing plate drawing are relatively big [2].

A relative lengthening of a stencil in the direction of the squeegee movement is described by the following expression:

During printing due to the friction force caused by squeegee movement, the lattice stencil is subjected to an





- количества пасты (в установках КЕКО предусмотрен скребок, который при возврате ракеля в исходную позицию опускается на заданную дистанцию к трафарету и создаёт однородный слой пасты для следующего отпечатка);
- типа и толщины сетки;
- качества изготовления трафарета;
- открытой площади поверхности трафарета по сравнению с его общей площадью;
- ширины печатных элементов;
- чистоты и шероховатости подложки;
- смачивающих свойств пасты на поверхности подложки.

Изменения позиционирования лежат в диапазоне  $-0,1 \dots +0,5$  мм на метр длины. Стандартное удлинение трафарета – примерно 100 мкм для трафаретной рамы размером 450×450 мм с площадью рисунка 6×6 дюймов. Удлинение трафарета линейно зависит от площади наносимого рисунка (чем она больше, тем больше удлинение). Эффект оказывает меньшее влияние на позиционирование единичного чип-компонента при групповой обработке. Если направление печати одинаковое для всех подложек в партии, ее параметры не меняются в течение технологического цикла, печать осуществляется одним ракелем. Удлинение трафарета оказывает значительное влияние на точность нанесения топологии, если:

- два трафарета использовались в одном технологическом цикле;
- нанесение топологии осуществлялось в несколько этапов с поворотом трафарета или подложки.

В последнем случае удлинение удваивается. Его можно частично устранить смещением центра трафарета относительно центра подложки в противоположную сторону от направления удлинения. Так как удлинение неоднородно по трафарету, невозможно идеально наложить два рисунка с поворотом.

В случае изготовления конденсаторов поворот можно заменить рядом иных приемов. При использовании двойной печати в противоположных направлениях рисунок также смещается в двух направлениях, и в результате увеличивается площадь печати.

Удлинение трафарета приводит и к проблемам при изготовлении компонентов малого размера на большой площади печати, так как линии печатных элементов будут искривлены. При резке на конечные элементы это приведет к браку (рис.6).

### ВЛИЯНИЕ ПАСТ НА ПРОЦЕСС ПЕЧАТИ

Паста на трафарете при печати не должна высыхать. Если она сохнет быстро, то будет оставаться на

additional stretching influence. The friction force depends on a big number of factors (stencil material, open surface, viscosity and composition of a paste, hardness and kind of sharpening of the squeegee) and is characterized by the specific friction coefficient of the stencil.

Production researches revealed relative errors of topology in comparison with the stencil drawing in the longitudinal and crosswise directions:

$$\frac{l_{p.и.} - l_{p.тр.}}{l_{p.тр.}} = (0,5 \dots 1,5) \cdot 10^{-3},$$

where  $l_{p.и.}$  – length of the control section of a product drawing;  $l_{p.тр.}$  – length of the control section of a stencil drawing.

Lengthening of a lattice stencil render bigger influence on the error of a relative positioning of the elements of a product drawing, than on the error of the form of its elements. The degree, to which such an element of a product extends during printing because of the spreading of pastes, depends on the following parameters:

- Viscosity, which changes with the time due to solvent evaporation;
- Quantity (design of КЕКО installations envisages a scraper, which with a return of the squeegee in the initial position falls at a set distance to the stencil and ensures a homogeneous layer of paste for the following print);
- Type and thickness of a grid;
- Quality of manufacture of a stencil;
- Open space of the stencil surface in comparison with its total area;
- Width of the printing elements;
- Cleanliness and roughness of a substrate;
- Moistening properties of a paste on a substrate surface.

Changes in positioning lie within the range of  $-0,1 \dots +0,5$  mm per one meter of length. The standard stencil lengthening is roughly 100 micrometers for a stencil frame of 450×450mm in size with the drawing area of 6×6 inches. Lengthening of the stencil linearly depends on the area of the applied drawing (the bigger it is, the greater is the lengthening).

The effect has a smaller impact on positioning of an individual chip-component in case of a group processing. If a printing direction is identical for all substrates in a party, its parameters do not vary during a technological cycle, and printing is carried out by one squeegee. Stencil lengthening has a considerable impact on the accuracy of application of topology, if:

- Two stencils are used in one technological cycle;
- Topology application is carried out in several stages with a turn of the stencil or of a substrate.

In the latter case the lengthening doubles. It can be eliminated partially by displacement of the center



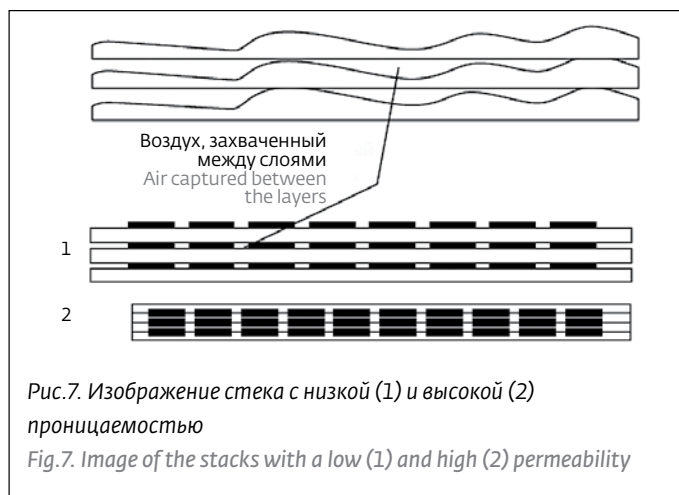
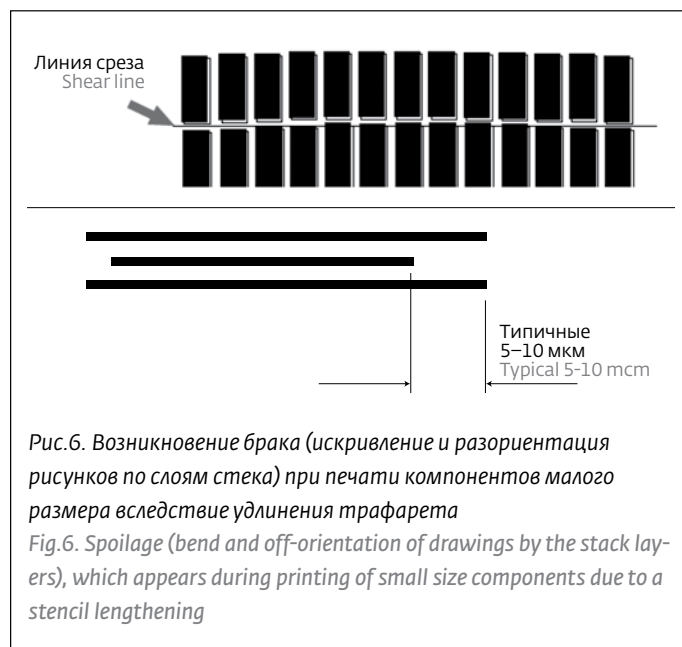
боковых поверхностях рисунка трафарета. Тогда приходится часто чистить трафарет. В противном случае после очистки площадь печати будет больше. В результате быстрое высыхание и частая очистка трафарета приводят к неравномерности печати, и рисунок меняется от процесса к процессу. Паста считается подходящей, если нет необходимости чистить трафарет при его длительном использовании.

Печатная паста должна быстро высыхать при низких температурах. Температура выше 80°C и время сушки более 4 мин приводят к удлинению носителя, керамической ленты и возможному искажению рисунка.

### ВЛИЯНИЕ КЕРАМИЧЕСКОЙ ЛЕНТЫ НА ПЕЧАТЬ

Совместимость свойств ленты с укладкой в стек – важнейший момент при позиционировании и прессовании. На совместимость с печатью и укладкой влияет проницаемость ленты. При укладке в стек последующего листа к предыдущему низкая проницаемость ленты приводит к возникновению между листами дефектов – полостей с воздухом (рис.7). Проницаемость керамической ленты на майларе (ПЭТ-плёнка, на которую льется керамика) должна иметь лучшую проницаемость по сравнению с лентой без пленки-носителя. Обычно, уменьшая содержание связки и пластификатора, можно повысить проницаемость ленты.

Параметры захвата ленты также влияют на качество трафаретной печати, поэтому сила ее должна быть менее 10 Н/мм<sup>2</sup> для лент на майларе и 5 Н/мм<sup>2</sup> для лент без майлара; температура до 80°C. Более высокие температуры и усилия могут привести к деформации стека, если свойства ленты не точно



of the stencil relative to the substrate centre, in the opposite direction from the lengthening direction. Since lengthening is not uniform along the stencil, it is impossible to impose ideally two drawings with a turn. In case of manufacture of condensers it is possible to replace a turn with a number of other technics. If a double printing in opposite directions is used, a drawing is also moved in two directions, and as a result the press area is increased.

Stencil lengthening may also cause problems in manufacture of small size components on a big area of printing, because the lines of the printing elements will be bent. During cutting into final elements this will result in a spoilage (Fig.6).

### INFLUENCE OF PASTES ON THE PRINTING PROCESS

Paste on a stencil should not dry up during printing. If it dries quickly, it will remain on the lateral surfaces of a stencil drawing. In this case a stencil will have to be cleaned too often. Otherwise after clearing the printing area will be bigger.

As a result, quick drying and frequent cleaning of the stencil lead to unevenness of printing, and a drawing changes from one process to another. A paste is considered suitable, if there is no need to clean a stencil during its prolonged use.

A printing paste should dry up quickly at low temperatures. A temperature above 80°C and time of drying over 4 minutes lead to a lengthening of the carrier, ceramic tape and possible distortion of a drawing.

### INFLUENCE OF A CERAMIC TAPE ON THE PRINTING

Compatibility of the properties of a tape with packing into a stack is a major factor in positioning and pressing. Compatibility with printing and packing is influenced by permeability of a tape. When a subsequent sheet is packed into a stack to the previous sheet, low permeability of a



подобраны. Большинство лент позволяют работать в требуемом диапазоне параметров, исключая некоторые ленты на водной основе, для которых необходимо подбор параметров захвата.

### УСЛОВИЯ ДЕФОРМАЦИИ ЛЕНТЫ

Некоторые ленты с большим содержанием пластификатора подвержены деформации, величина которой зависит от давления и температуры. Деформация выражается в сдвиге и изменении формы стека. Растяжение его приводит к сильному удлинению (подобные проблемы имеют большинство лент компании Ferro, выполненных по стандартной формуле). Для получения хорошего результата удлинение ленты должно быть менее 5% до ее разрыва. Условия деформации ленты наиболее критичны при использовании органических связок в отличие от лент на водной основе, которые более устойчивы к искажениям.

### ПЛАСТИЧНОСТЬ ЛЕНТЫ

Эта характеристика в первую очередь связана с деформацией. Лента должна обладать пластичностью, чтобы в процессе укладки в пакет устранить возможные отклонения ее толщины. Если часть ленты толще другой на 1 мкм, то разница стека в 100 слоев по толщине составит 100 мкм. Эта неоднородность компенсируется локальной деформацией ленты. Большинство лент на органических связках в отличие от лент на водной основе без добавок обладает данным свойством.

Из опыта "Оstek": примерно 80% материалов, применяемых на мировом рынке, пригодно для использования на машинах типа PAL-9, а также на машинах KEKO Equipment, предназначенных для выполнения данных задач, особенно, если в качестве поставщика материала выбраны компании Ferro или DuPont.

Все вышеизложенное демонстрирует основные тонкости процессов трафаретной печати и сборки в пакет, на которые необходимо обращать внимание. Это позволит исключить ряд технологических проблем или помочь в их решении, начиная от выбора оборудования и заканчивая реализацией производства конкретных продуктов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чигиринский С., Штупар Е. Особенности трафаретной печати и сборки в стек на оборудовании KEKO. – ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, 2010, №3, с. 42
2. <http://3ys.ru/tekhnologiya-proizvodstva-evm/trafaretnaya-pechat.html>

tape results in occurrence of defects – air cavities between the sheets (Fig.7). Permeability of a ceramic tape on a mylar (PET film, on which ceramics is poured) should have better permeability in comparison with a tape without a film-carrier. Usually it is possible to raise the permeability of a tape by reducing the content of a binder and plasticizer.

The parameters of tape capture also influence the quality of the screen printing, therefore its force should be less than 10 N/mm<sup>2</sup> for the tapes on a mylar and 5 N/mm<sup>2</sup> for the tapes without a mylar; and temperature should be within the level of 80°C. Higher temperatures and force may cause deformation of the stack, if the tape's properties are not selected accurately enough. Most tapes allow us to work within the required range of parameters, except certain water-based tapes, which need matching of the capture parameters.

### TAPE DEFORMATION CONDITIONS

Pressure and temperature cause deformation of certain tapes with a high content of plasticizer. The deformation is expressed in shifts and form changes of a stack. Its stretching results in a big elongation (such problems are typical for most Ferro tapes made in accordance with the standard formula). For obtaining of good results the tape lengthening should be less than 5 % before its rupture. The conditions of a tape deformation are most critical when organic binders are used, in contrast to the water-based tapes, which are more resistant to distortions.

### PLASTICITY OF A TAPE

This characteristic is first of all connected with deformation. A tape should have plasticity in order to eliminate possible deviations of its thickness in the course of packing into a package. If a part of a tape is 1 micrometer thicker than another part of it, than in a 100-layer stack the difference in thickness will reach 100 microns. This heterogeneity is compensated by a local deformation of a tape. Most tapes based on organic binders have the given property, unlike water-based tapes without additives.

From Ostek experience: approximately 80 % of the materials available in the world market are suitable for use by machines of PAL-9 type, and also by KEKO Equipment intended for solving of the given tasks, especially, if the suppliers of the material are Ferro or DuPont companies.

Such are the main subtleties of the processes of screen printing and package assemblage, which deserve attention and allow to eliminate a number of technological problems or help to solve them, beginning from selection of equipment and finishing with realization of a manufacture of concrete products.

