

Методы оформления отверстий в «сырых» LTCC и НТСС керамических картах

Виктор ЧЕРНЫХ
Андрей ХОХЛУН
Ёжи ШТУПАР
Сергей ЧИГИРИНСКИЙ

В статье описаны методы оформления переходных отверстий и окон в сырой керамической пленке, применяемой при создании многослойных корпусов и плат на основе низко- (LTCC) и высокотемпературной керамики (НТСС). Указаны основные преимущества и недостатки методов прошлых лет и нашего времени.

Введение

При создании электрических связей элементов конструкции в многослойных металлизированных керамических коммутационных платах и корпусах интегральных схем (ИС) (рис. 1, 2, 3), а также монтажных «колодцев», в которых будут размещены различные дискретные элементы (кристаллы ИС, кварцевые резонаторы, емкости, индуктивности и т. п.), используют различные методы их оформления.

Наиболее распространенные методы оформления отверстий различных размеров и форм в сырой керамической пленке LTCC и НТСС изделий для ИЭТ представлены в таблице 1.

Метод 1

Он применяется с начала производства керамических многослойных изделий [1]. Первоначально предпочтение в его использовании было обусловлено относительно простой конструкцией изделий с небольшим количеством выводов (4–64) корпусов интегральных схем. Электрическая связь токоведущих элементов конструкции таких корпусов осуществлялась через торцевые поверхности — торцевую металлизацию, а количество карт в пакете составляло от трех до шести штук. Как особенность такого метода можно отметить сравнительно небольшие размеры обрабатываемых керамических карт (до 100×110 мм), что позволяет проектировать, изготавливать и использовать в производстве твердосплавные штампы приемлемой сложности и стоимости (до 300 тыс. руб.), имеющие ресурс до 2–5 млн ударов и малую ремонтпригодность (возможность шлифовки рабочих частей).

Типовые варианты конструкций изделий, технологический раскрой карт корпусов ИС представлены на рис. 2, 3 и 4.

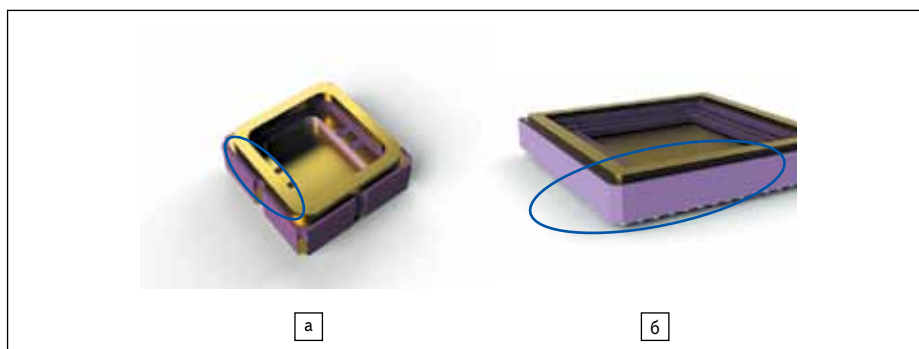


Рис. 1. Электрические связи внутренних контактных площадок, монтажной площадки и ободка с внешними металлизированными площадками организованы: а) через боковые металлизированные отверстия; б) через внутренние отверстия, заполненные металлизацией

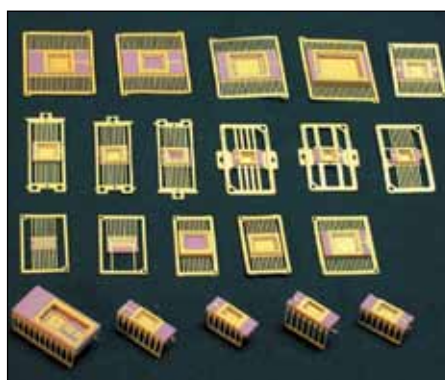


Рис. 2. Типовые керамические корпуса ИС с небольшим количеством выводов (предприятие «ДЗРД»)

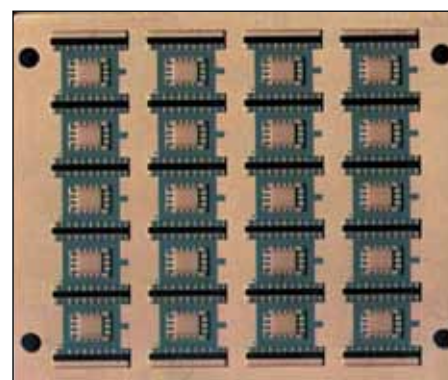


Рис. 3. Пакет из трех карт с отверстиями — групповая заготовка для корпусов «ТИР» (предприятие «ДЗРД»)

Таблица 1. Методы оформления отверстий различных размеров и форм в сырой керамической пленке LTCC и НТСС изделий для ИЭТ

Метод	Краткое описание метода	Краткое описание оснастки (оборудование, инструмент)
1	Групповой метод оформления отверстий различной формы и размеров	Оригинальные твердосплавные многоместные штампы
2	Групповой метод оформления отверстий различной формы и размеров	Универсальные штампы с использованием пуансона из полиуретана (резины) и матрицы (копира) из твердого сплава
3	Единичная пробивка отверстий	Оригинальные наборы твердосплавного единичного инструмента (пуансон и матрица) для универсального автоматического оборудования пробивки отверстий
4	Единичная «пробивка» отверстий	Оформление отверстий методом вырезки лазерным лучом

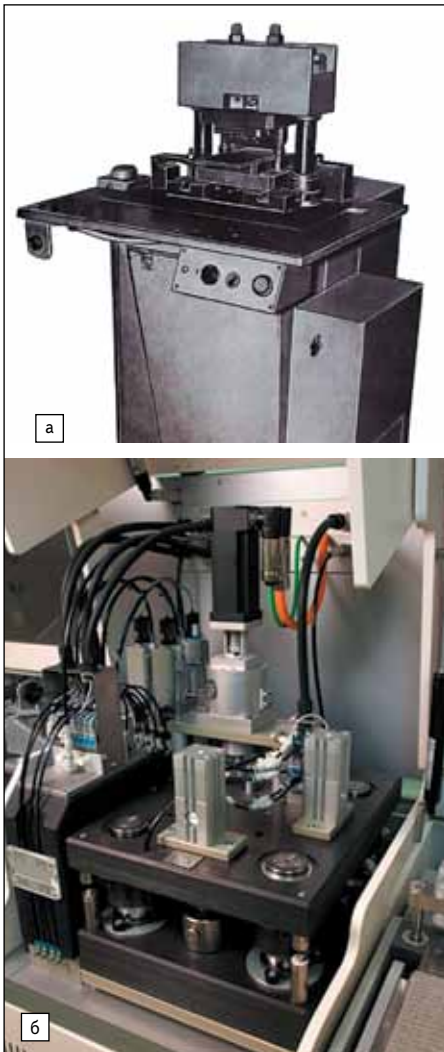


Рис. 4. Оборудование для работы со штампом:
а) пресс с нижним приводом (предприятие «ДЗРД», СССР, 1980-е гг.);
б) узел пробивки установки формирования отверстий РАМ-8 (КЕКО Equipment, Словения)

Для эксплуатации штампов используются универсальные механические (пневматические) прессы с усилием около 3 т (рис. 4).

Следует отметить, что дальнейшее увеличение размеров карт потребовало значительного увеличения сложности и стоимо-



Рис. 5. НТСС-корпус и плата (36×50 мм) керамического модуля (ФГУП «Субмикрон»)

сти специализированных групповых штампов. Тем не менее для ряда групп серийных изделий этот метод с успехом используется и сегодня.

Метод 2

Последующее развитие конструкций изделий, связанное с миниатюризацией и повышением функциональности и быстродействия мелкосерийных компонентов ЭРИ, предусматривало создание межслойных соединений и увеличение количества слоев от 10 и более [2].

В конце 1970-х — начале 1980-х годов не существовало производственного оборудования и технологии для оформления большого количества отверстий (10–20 шт./дюйм²) в сырой керамической карте толщиной 100–200 мкм. Для этих целей служил метод «вырезка резиной и полиуретаном».

Обычные методы штамповки, широко применяемые в крупносерийном и массовом производстве, недостаточно эффективны и нерациональны в условиях мелкосерийного и быстроперенастраиваемого производства, так как для изготовления конструктивно сложных и дорогостоящих штампов требуется длительное время, при этом затраты не окупаются.

В связи с необходимостью быстрого освоения новых видов изделий в таких условиях возникла потребность в новых технологических процессах с использованием дешевой универсальной или частично универсальной оснастки. К таким процессам относятся безматричные (бесштамповые) способы вырезки и пробивки: вырезка резиной и полиуретаном; вырезка пластичными металлами; безматричная пробивка. При этом значительно упрощается конструкция инструмента и удешевляется его изготовление, отпадает необходимость в изготовлении и подгонке вырезных матриц, роль которых выполняют резина или полиуретан.

Особенностью этого метода является также использование мощных прессов, обеспечивающих усилие до 7000 кгс/см².

Следует отметить, что для качественно оформления отверстий особое внимание необходимо уделить обеспечению равной толщины керамической пленки в пределах 2–5 мкм по всей поверхности карты, что приводит к введению дополнительной операции — вальцовки сырых керамических карт,

а также равномерному распределению отверстий малого диаметра (менее 1 мм) на площади карты.

Типовая конструкция изделия с отверстиями, оформляемыми по методу 2, и пример матрицы (шаблона) представлены на рис. 5 и 6.

Полиуретановый блок, заключенный в обойму (контейнер), является универсальной матрицей. Роль пуансона выполняет листовая вырезная шаблон (копир), имеющий форму детали со всеми отверстиями.

На рис. 6 показан разрез такого шаблона. Коническое уширение делается лишь при вырубке относительно толстого материала (1–2 мм) для облегчения удаления шаблона из заготовки.

Вырезной шаблон делают из стали марок У7, У8, Х12 М и ХВТ с термической обработкой до HRC 60–65 и последующей шлифовкой до 7–8 класса шероховатости.

Режущие кромки должны быть острыми. Толщина вырезного шаблона (h) зависит от толщины штампуемого материала (S) (табл. 2). Значения минимального диаметра отверстий в керамической пленке, пробиваемых полиуретаном, приведены в таблице 3.

Таблица 2. Зависимость толщины вырезного шаблона от толщины штампуемого материала

S, мм	0,05	0,2	0,5	1
h, мм	1,5–2	2–2,5	3	4

Таблица 3. Минимальный диаметр отверстий в керамической пленке, пробиваемых полиуретаном

Давление, кгс/см ²	Минимальный диаметр при толщине пленки, мм			
	0,05–0,2	0,3–0,5	0,6–0,8	0,9–1,2
500	1,5–7,5	10–19,5	15–31,5	25–46
1000	0,5–3,5	5–10	8–16	17–23
5000	0,1–0,7	0,8–2	1,5–3	2,5–4,5

Следует отметить, что сегодня метод 2 практически не используется из-за низкого качества формируемых отверстий. Тем не менее, для ряда групп серийных изделий данный метод с успехом используется по сегодняшний день, в том числе на установках РАМ-8 с применением оригинальных блоков пробивки для группового инструмента.

Метод 3

При дальнейшем развитии керамических многослойных изделий для ИЭТ потребо-

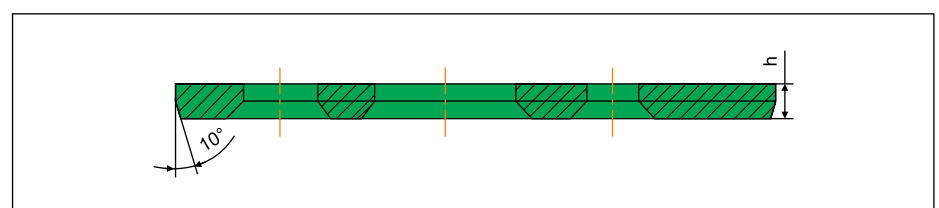


Рис. 6. Вырезной шаблон

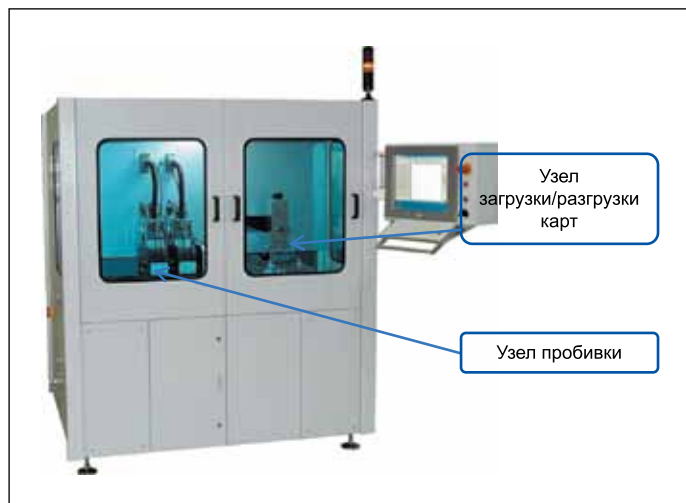


Рис. 7. Установка перфорации PAM-8SCC (KEKO Equipment)

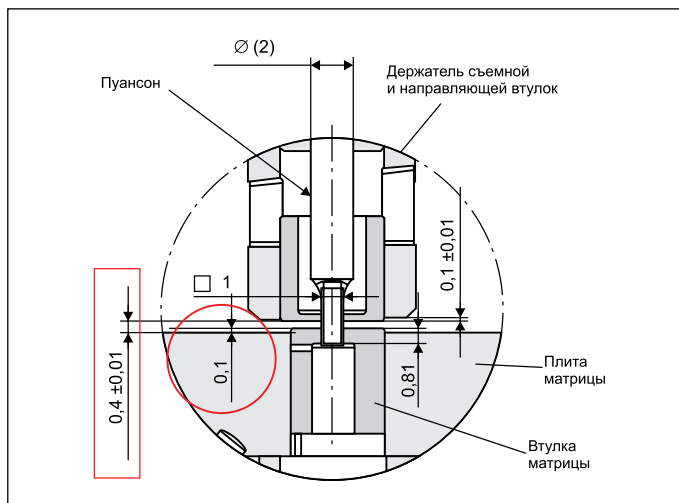


Рис. 8. Пример среза узла пробивки для карт толщиной до 350 мкм

валось создать специальное автоматизированное оборудование, обеспечивающее оформление значительного количества отверстий диаметром от 50 мкм на стандартных керамических картах, с размерами до 10×10 дюймов.

Сейчас диапазон отверстий в изделиях составляет, как правило, 30–300 мкм.

На рис. 7 представлено типовое оборудование для автоматической механической штамповки — установка перфорации серии PAM. Она относится к группе механических пробивных машин компании KEKO Equipment (Словения).

Механическая штамповка осуществляется с помощью единичного твердосплавного инструмента (пара — пуансон и матрица). Его конструкция показана на рис. 8. Используемый принцип: все пуансоны зафиксированы в пробивочной головке и перемещаются только по оси Z; соответствующие матрицы (втулки с отверстием) неподвижны; керамическая карта захватывается и перемещается с помощью рамки с вакуумными отверстиями по периметру. Управление перемещением карты и команды пробивки выполняются в автоматическом режиме.

Минимальный диаметр отверстий составляет 80 мкм (при серийном производстве) и 50 мкм (лабораторное производство, опытные образцы).

Скорость пробивки одним инструментом — до 20 отверстий/с. Скорость пробивки с использованием многоместных блоков — до 100 отверстий/с.

Преимущества механической штамповки на установках KEKO:

- Возможность штамповки керамической пленки, находящейся на подложке ПЭТ (лавсан, в английском варианте — Mylar).
- Хорошее качество поверхности среза отверстий без изменения свойств материала.
- Высокая производительность при использовании нескольких блоков пробивки или многоместных пуансона/матрицы.

- Относительно низкая стоимость базовой машины.
- Высокая точность размеров выполненных отверстий на карте: не более ± 5 мкм.
- Широкий диапазон толщины обрабатываемой керамической ленты: от 5 мкм до 2 мм.
- Возможность автоматизированной работы «из кассеты в кассету».
- Малое время замены инструмента: 10 мин. для пуансона (матрицы), 30 мин. для смены всей пробивной сборки.
- Возможность оформления одним квадратным инструментом (например, 2×2 мм) различных размеров монтажных окон (например, 3×4; 4×4 мм и т. д.) путем задания соответствующей программы пробивки по площади отверстия.
- Количество одновременно установленных инструментов в машине — до 8 шт.
- Возможность одновременного совместного использования штампа и до четырех типоразмеров пуансонов.

Недостатки механической штамповки на установках KEKO:

- Минимальный диаметр перфорации ограничен стойкостью инструмента: для размеров меньших, чем 100 мкм, стойкость инструмента мала из-за хрупкости материала.
- Естественный износ инструмента при штамповке из-за высокой абразивности материала керамической ленты. Для карт толщиной 0,15–0,3 мм среднее количество пробиваемых отверстий более 1 мм составляет около 2 млн шт., для отверстий менее 1 мм — 200–500 тыс. шт. (до 100 тыс. шт. для отверстий 0,1–0,15 мм).
- Менее гибкая по сравнению с лазерным вариантом пробивки. (Требуется замена инструмента с другими размерами вместо уточнения программы реза на установке лазерной резки.)

Износ инструмента сильно влияет на качество штамповки и зависит в основном от толщины ПЭТ-пленки и ее типа. Для тонкой ПЭТ (лавсан, ниже 30 микрон) при изно-

се инструмента велика вероятность того, что лавсановая высечка будет «закусана» между пуансоном и матрицей, и инструмент будет сломан. Толстую ПЭТ (более 75 мкм) трудно пробить с помощью инструмента малого диаметра (<150 мкм).

Для лучшей производительности штамповки рекомендуется использовать специальный носитель керамической ленты, например «белый майлар». Этот вид ПЭТ-пленки был специально разработан для механической перфорации.

Рекомендуется располагать карту на установках пробивки KEKO таким образом, чтобы пленка ПЭТ находилась со стороны пуансона (сверху). Опыт показывает, что качество перфорированных отверстий улучшается, а срок службы инструмента увеличивается.

Отверстия в толстых керамических лентах (выше 200 мкм) можно пробивать без несущей пленки ПЭТ. Штамповка без пленки ПЭТ обеспечивает максимальный срок службы штамповочного инструмента, однако необходимо проверить поведение керамической карты без несущей ленты по всему производственному процессу, определить, где могут произойти неожиданные усадки или искажения формы изделия.

Этот метод наиболее распространен. Например, несколько типов корпусов, ранее выпускаемых на ФГУП «Субмикрон» (теперь НИИ «Субмикрон») по методу 2, сейчас освоены на предприятии «ДЗРД» с применением оборудования KEKO Equipment, то есть по методу 3.

Метод 4

Особенность метода лазерной перфорации в том, что требуется проведение обязательных тестов совместимости керамической ленты с лазерным излучением. Наиболее распространенные типы лазерных установок (рис. 9) — это твердотельные или CO₂-лазеры.

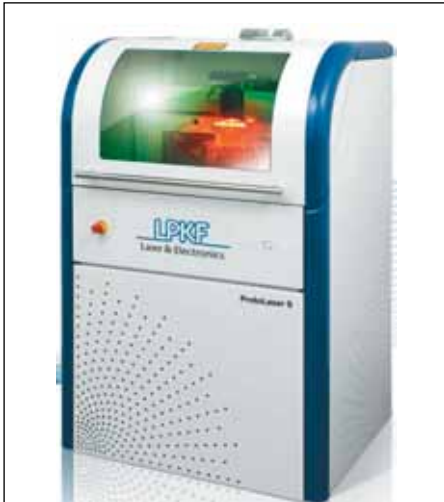


Рис. 9. Лазерная установка для пробивки отверстий [3]

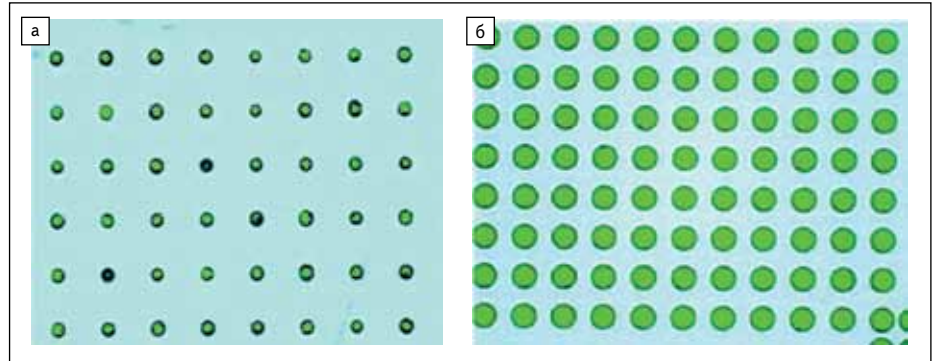


Рис. 10. Внешний вид отверстий: а) 30-мкм, пробитых лазером; б) 100-мкм, пробитых механически [4]

- Основные характеристики метода:
- Скорость пробивки:
 - до 100 отверстий/с (режим одиночного луча);
 - до нескольких тысяч отверстий/с (режим мультилуча).
 - Минимальный диаметр отверстий:
 - 10 мкм для твердотельного лазера;
 - 100 мкм для лазера CO₂.
- Преимущества метода:
- высокая скорость;
 - простота программирования;
 - гибкость при перенастройке размеров оформляемых отверстий;
 - возможность пробивки наименьших диаметров отверстий;
 - отсутствие расходных материалов.
- Недостатки метода:
- Применимость этого метода ограничена свойствами керамики при выраженной зависимости оптических параметров керамической ленты. К ним относятся цвет, прозрачность, отражательная способность и т. д. Таким образом, на различных керамических лентах получаются разные результаты.
 - Трудно обеспечить стабильное качество отверстий.
 - Усадка керамики и лавсана (майлароа).
 - Образование стекла, формирующего дефекты на краю сквозных отверстий.
 - Практически невозможно качественно пробить прозрачную лавсановую пленку, что не позволяет провести качественное заполнение (металлизацию) отверстий.
 - Для лент толщиной >100 мкм возникает проблема удаления «выгоревших», оплавленных частей лавсана (майлара) и керамической ленты.
 - Значительная стоимость оборудования в сравнении с оборудованием для механической пробивки отверстий (примерно в 2 раза выше).

¹ Лазеры с наиболее короткой волной (например, УФ) позволяют формировать минимальные отверстия. Однако могут возникнуть проблемы из-за образования стекла на краях отверстия.

Таблица 4. Сравнительные характеристики методов оформления отверстий в «сырых» керамических картах для HTCC и LTCC изделий

Характеристика/метод	1 (штамп)	2 (полиуретан)	3 (пуансон/матрица)**	4 (лазер)**
Уровень производства изделий	Массовое производство	Мелкосерийное и опытное производство	Серийное и опытное производство	Мелкосерийное / массовое производство*
Возможность обработки керамических карт на подложке (майларе)	Возможно	Нет	Возможно, предпочтительно	Возможно, не рекомендуется
Размещение отверстий на карте	Нет ограничений	Предпочтительно равномерное	Нет ограничений	Нет ограничений
Минимальное расстояние между отверстиями ≤ ∅1 мм	∅(+2–5) мм	∅(+1–2) мм	1–1,5 толщины карты	Нет ограничений
Минимальный диаметр отверстий в производстве, мм	≥0,3	≥0,1	≥0,08	≥0,01
Относительная стоимость оснастки в сравнении с оснасткой по методу 1	1	0,01–0,05	0,05–0,2	0,005–0,01***
Относительная стойкость оснастки в сравнении с оснасткой по методу 1	1	0,05–0,2****	1	–
Наличие в оборудовании автоматического контроля качества пробивки отверстий	Нет	Нет	Есть	Нет
Стабильность уровня качества отверстий	Хорошо	Хорошо / удовлетворительно	Отлично	Хорошо / удовлетворительно

Примечания. * Менее 5% производителей используют лазерную пробивку для массового производства. Это связано со взаимодействием лазера и керамики, а также зависит от применения конечного продукта. Для продуктов со специальным применением этот метод формирования отверстий не используется. ** Стандартные габариты карт, применяемых в производстве, — 5, 6, 8 и 10 дюймов. *** Стоимость сервисной оснастки для крепления карты и удаления отходов. **** Для полиуретана.

- При небольшом изменении параметра лазерного луча могут получаться совершенно разные результаты (рис. 10).

Заключение

Сравнительные характеристики методов оформления отверстий в «сырых» керамических картах для HTCC и LTCC изделий представлены в таблице 4.

Литература

1. Багыгин В.Н., Метелкин И.И., Решетников А.М. Вакуумно-плотная керамика и ее спаи с металлами. М.: Энергия, 1973.
2. Исаченков Е.И., Бирюков Ю.Д. Перспективы совершенствования листовой штамповки эластичными и жидкостными средами // Кузнечно-штамповочное производство. 1972. № 1.
3. http://www.lpkfusa.com/protomat/pl_s.htm
4. <http://www.keko-equipment.com>