

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ В СЫРОЙ LTCC

ELECTRON BEAM DRILLING IN GREEN LTCC

Я.Чжо, (ORCID: 0000-0003-4108-5971), В.Н.Масловский, (ORCID: 0000-0003-0725-986X), К.М.Моисеев, (ORCID: 0000-0002-8753-7737) / zhuoyu@ya.ru

Y.Zhuo, V.N.Maslovsky, K.M.Moiseev,

МГТУ им. Н.Э.Баумана, г. Москва

В статье показаны использование и преимущества низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC). Рассмотрены традиционные методы ее обработки и их недостатки. Представлены результаты экспериментов по обработке (сверлению) отверстий в LTCC электронным лучом на установке электронно-лучевой обработки «ЛУЧ». Механизм электронно-лучевая обработка сырой LTCC рассказан.

Ключевые слова: электронный луч, сырая LTCC, обработка, отверстие.

The article shows the uses and benefits of low temperature co-fired ceramic (LTCC). Traditional methods of its processing and their shortcomings are considered. The results of experiments on the processing (drilling) of holes in LTCC with an electron beam on the electron beam processing equipment "LUCH" are presented. The mechanism of electron beam processing of green LTCC is described.

Keywords: electron beam, green LTCC, processing, holes.

ВВЕДЕНИЕ

Технология низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC) в настоящее время быстро развивается и успешно применяется в различных областях, например, для производства микросхем ВЧ и СВЧ низкой и средней степени интеграции [1]. Важным преимуществом LTCC технологии является спекание слоёв при температуре ниже 870°C, что даёт возможность работать с пастами на основе золота, серебра и меди (с малым удельным сопротивлением), что обеспечивает этому материалу возможность применения в современных микроминиатюрных СВЧ модулях. Применение этих материалов позволяет существенно улучшить параметры электронных устройств [2]. Необходимость разработки низкотемпературной керамики для применения в электронном приборостроении продиктована с точки зрения как экономических, технологических, так и технических ее преимуществ [3].

В настоящее время для получения отверстий в LTCC применяют механическую или лазерную обработку [4]. Однако традиционные методы обработки имеют свои недостатки и ограничения и постепенно перестают полностью удовлетворять техническим потребностям. Например, при сверлении LTCC традиционными методами диаметр отверстия составляет до 50 мкм [5], однако для дальнейшей миниатюризации электронных устройств размеры должны уменьшаться до 30 мкм и меньше [6].

Электронно-лучевая обработка благодаря своим характеристикам также подходит для обработки LTCC. ЭЛО по сравнению с механической лишена таких недостатков, как изменение размеров отверстий при износе инструмента и необходимость смены инструмента при изменении профиля отверстия, а по сравнению с лазерной – отсутствие конусности отверстий и изменение состава материала в зоне возле обработки [7-10].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по обработке (сверлению) отверстий в сырой ЛТСС на установке электронно-лучевой размерной обработки «ЛУЧ» [11]. Эксперименты направлены на исследование влияния тока обработки и количества импульсов на диаметры отверстий. Материал – лист ЛТСС КЕКО SK-47 толщиной 254 мкм. Параметры обработки представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры обработки						
№	И _{об} , мА	И _ф , мА	Размер развертки	Скорость развертки, мм/с	Частота развертки, Гц	Степень вакуума, мбар
1	1	633	600	2	20	10 ⁻⁴
2	1	633	600	2	600	10 ⁻⁴
3	1	633	600	2	1200	10 ⁻⁴

Из-за низкой электропроводности керамики на поверхности изделия возникают отрицательные заряды, снижающие энергию электронов пучка, вызывающие расфокусировку, искажение формы и увеличение диаметра пучка [12]. Поэтому при обработке на керамический лист сверху накладывается стальная пластина с отверстиями (рис. 1).

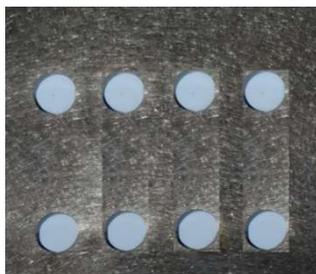


Рис. 1. Стальная пластина с отверстиями на листе ЛТСС.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты эксперимента по обработке сырой ЛТСС керамики при разной частоте развертки электронного пучка представлены на рис. 2. На рис. 2, а) видно, что отверстие просверлено не полностью, часть материала осталась в отверстии и поменяла цвет на белый. На рис. 2, б) видно, что форма отверстия круглая, а диаметр совпадает с отверстием в стальной пластине, края отверстия неровные, черного цвета, заметна зона теплового воздействия. Цвет вокруг отверстия становится белым. На рис. 2, в) можно отметить меньшую зону теплового воздействия и менее деформированные края отверстия, чем на рис. 2, б).

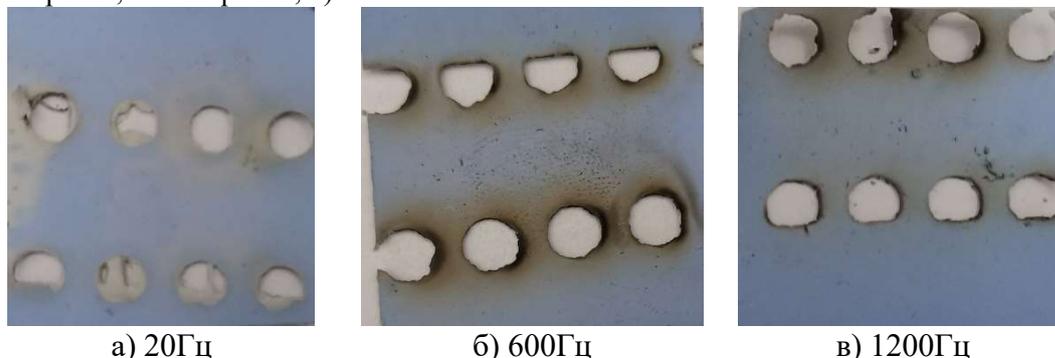


Рис.2. Изображения отверстий при сверлении электронным лучом с разной частотой развёртки.

ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку ЭЛ обладает крайне высокой плотностью энергии (указать какой!), то при взаимодействии с сырой ЛТСС её температура быстро повышается. Термические свойства сырой ЛТСС таковы, что до того, как частицы Al_2O_3 и SiO_2 достигнут точки плавления, органический связующий материал, который удерживает частицы Al_2O_3 и SiO_2 на месте, уже расплавляется и разлагается на различные газы. Относительно высокое локальное давление газа вытесняет несвязанные частицы Al_2O_3 и SiO_2 из нагретого материала заготовки в окружающий вакуум. При сканировании на низкой частоте интервал времени между электронным лучом, воздействующим на керамику, больше. При той же скорости сканирования большая часть материала не подвергается воздействию электронного луча, поэтому отверстие не просверливается полностью. Различные газы взаимодействуют с прилегающим материалом отверстия, вследствие чего вокруг отверстия меняется цвет. Возможно, это происходит из-за того, что время обработки слишком велико, и слишком много тепла передается окружающему материалу, вызывая изменения в его структуре. После обработки разверткой, температура стальной пластины повышается, что также может влиять на химические свойства ЛТСС.

ВЫВОДЫ

Используя пластину из нержавеющей стали толщиной 2 мм с отверстиями диаметром 4 мм можно получить отверстия в сырой ЛТСС керамике расфокусированным электронным пучком с разверткой по прямой линии. Отверстия получаются круглой формы, диаметр совпадает с отверстием в стальной пластине. Выявлено, что частота развертки влияет на качества ЭЛ обработки. Для минимизации зоны воздействия газов связующих веществ керамики ЛТСС и зоны термического влияния рекомендуется повышать частоту развертки электронного пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кумачева С А, Плетнев П М, Непочатов Ю К. Новый класс технической керамики-ЛТСС и особенности его получения[J]. Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения, 2016 (1 (36)): 16-20.
2. Joseph T, Sebastian M T, Sreemoolanadhan H, et al. Effect of glass addition on the microwave dielectric properties of $CaMgSi_2O_6$ ceramics[J]. International Journal of Applied Ceramic Technology, 2010, 7: E98-E106.
3. Плетнев П М, Кумачева С. А. Низкотемпературно обжигаемая керамика для технологии ЛТСС (аналитический обзор)[J]. Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения, 2016 (2 (37)): 28-35.
4. Khoong L E, Tan Y M, Lam Y C. Overview on fabrication of three-dimensional structures in multi-layer ceramic substrate. Journal of the European Ceramic Society, 2010, 30(10): 1973-1987.
5. Перцель Я. М., Рудак Ю. А. Исследование возможности получения рисунка топологии толсто пленочных ЛТСС-плат с помощью лазера // Техника радиосвязи, 2015. – №3. – С. 90-96.
6. Hagen G., Rebenklau L. Fabrication of smallest vias in LTCC Tape // 2006 1st Electronic Systemintegration Technology Conference. – IEEE, 2006. Vol. 1. P. 642-647.
7. Rebenklau L., Wolter K. J., Hagen G. Realization of μ -Vias in LTCC Tape //2006 29th International Spring Seminar on Electronics Technology. – IEEE, 2006. – С. 55-63.
8. Wang G. et al. Fabrication of microvias for multilayer LTCC substrates //IEEE transactions on electronics packaging manufacturing. – 2006. – Т. 29. – №. 1. – С. 32-41.
9. Kita J. et al. Laser treatment of LTCC for 3D structures and elements fabrication //Microelectronics International. – 2002. – Т. 19. – №3. – С. 14-18.
10. Nowak K. M., Baker H. J., Hall D. R. Cold processing of green state LTCC with a CO 2 laser //Applied Physics A. – 2006. – Т. 84. – №. 3. – С. 267-270.

11. Zhuo Y, Liang M, Moiseev K M, et al. Possibilities of the Electron-Beam Machine «LUCH» for Dimensional Microprocessing of Glass and Ceramic Materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020, 781(1): 012014.

12. Климов А С, Медовник А В, Юшков Ю Г, et al. Применение форвакуумных плазменных источников электронов для обработки диэлектриков[J]. 2017.