

Шелехов Игорь Юрьевич

канд. техн. наук, доцент

Смирнов Евгений Игоревич

аспирант

Майзель Денис Игоревич

магистрант

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»

г. Иркутск, Иркутская область

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ПРОИЗВОДСТВА ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

***Аннотация:** в статье представлены исследования отработки технологических параметров, разработка и изготовление узлов экспериментальных линий. Описано инновационное направление изготовления нагревательных элементов по толстопленочной технологии с использованием пасты, представляющей собой сложную, структурированную систему. В результате проведенной работы определено, что использование состава на основе полиэфирной смолы в качестве диэлектрического связующего целесообразней, так как он имеет более стабильные реологические свойства по сравнению с составом на основе эпоксидного компаунда.*

***Ключевые слова:** нагревательные элементы, толстопленочная технология, сетко-трафаретная печать, паста, диэлектрическое связующее, электропривод FDI-80.*

В целях повышения конкурентного преимущества, для изготовления нагревательных приборов применяются новые разработки. Одним из новых инновационных направлений является изготовление нагревательных элементов по толстопленочной технологии. Основой этой технологии является сетко-трафаретная печать. Через трафарет, нанесенный на сетке, на диэлектрическую подложку

наносится топологический рисунок, который после специализированной термической обработки превращается в нагревательный элемент.

Для изготовления нагревательных элементов используются пасты, которые представляет собой сложную, структурированную систему с определенными реологическими свойствами, которые обуславливают зависимость между напряжениями и упругими деформациями в данный момент времени при известных внешних силах, действующих на систему. Основной реологической характеристикой упругих систем является вязкость, величина которой определяется природой и составом диэлектрического связующего.

Диэлектрическое связующее сохраняет функциональные материалы в виде суспензии. Недостаток связи приводит к получению повторяющихся рисунок сетки рельефных слоев, избыток вызывает неравномерное распределение на подложку пасты при испарении определенной части диэлектрического связующего во время сушки. От вязкости пасты зависит скорость движения ракеля по рамке с трафаретом, а следовательно и производительность. От текучести пасты, величины обратной вязкости зависят качественные характеристики изоляционных и резистивных слоев. При производстве характеристики динамических нагрузок меняются в зависимости от растяжения сетки трафарета, изнашивания ракеля, факторов внешней среды.

Площадь изготавливаемых нагревательных элементов превышает в несколько раз площадь подложек, для которых выпускаются пасты с заданными значениями вязкости и скоростью движения ракеля (обычно 4–5 мм/с).

В качестве диэлектрического связующего для нагревателей из углеродных материалов и графита используются полиэфирные смолы и эпоксидные компаунды.

Режим нанесения является частью технологической цепочки производства нагревательных элементов. При скорости движения ракеля 80–100 мм/с, цикл нанесения не будет вызывать сбоя в работе всего цикла.

Целью нашего исследования была отработка технологических параметров, разработка и изготовление узлов экспериментальной линии, с помощью которых

будет оптимизирован технологический цикл производства и будут обеспечена защита обслуживающего персонала и оборудования от возможных аварийных ситуаций.

Для исследования был изготовлен трафарет в виде параллельно-последовательно расположенных дорожек размером 1мм x 10мм на площади диаметром 150 мм.

Затем были изготовлены два вида резистивных паст на основе полиэфирных смол и эпоксидных компаундов, с массовым отношением от 10 до 50 мас. %

Нанесение осуществлялось при температурах подложки от 20–40°C (зависимость температуры основания станка от погодных факторов и продолжительности работы).

Повторные испытания были проведены с искусственно затупленным раке-лем и вытянутой сеткой.

Во время эксперимента температура подложки измерялась термопарой медь- константан, для управления скоростью движения ракеля для экспериментальной технологической линии был разработан и изготовлен узел на основе электропривода FDI-80. Для управления скоростью электропривода были разработаны и изготовлены узлы контроля и управления, которые не только обеспечивают необходимые технологические параметры, но и защищают линию от вероятных аварийных ситуаций, в том числе и обслуживающий персонал. Сопротивление резистивных нагревательных элементов фиксировалось цифровым универсальным вольтметром В7–23.

По результатам исследования в качестве диэлектрического связующего был выбран состав на основе полиэфирной смолы, имеющий более стабильные реологические свойства по сравнению с составом на основе эпоксидного компаунда, составляющими 25 ... 30 мас. %.

В результате исследований было определено, что в качестве диэлектрического связующего целесообразней выбрать состав на основе полиэфирной смолы, имеющий более стабильные реологические свойства по сравнению с составом на основе эпоксидного компаунда, составляющими 25 ... 30 мас. %. Так

же нами было определено, что при продолжительных циклах работы необходимо управлять технологическими параметрами нанесения топологического рисунка нагревательного элемента. Для этого нами был разработан и изготовлен узел на основе электропривода FDI-80 для управления скоростью движения ракеля для технологической линии. Для управления скоростью электропривода разработаны и изготовлены узлы контроля и управления, которые обеспечивают необходимые технологические параметры и защищают обслуживающий персонал от вероятных аварийных ситуаций.

Список литературы

1. Шелехов И.Ю. Разработка отопительного оборудования и исследования его эффективности в системах жизнеобеспечения / И.Ю. Шелехов, Т.И. Шишелова // Вестник ИрГТУ. – 2007. – Т. 1. – №1 (29). – С. 104–109.
2. Шелехов И.Ю. Сравнительный анализ использования электронагревательных приборов в жилых помещениях / И.Ю. Шелехов, Т.И. Шишелова // Фундаментальные исследования. – 2012. – №9–2. – С. 421–424.
3. Шелехов И.Ю., Шелехова И.В., Иванов Н.А., Головных И.М., Ким Бьянг Чул: Патент на изобретение №2463748 от 10.08.2012 г. «Способ изготовления толсто пленочного резистивного нагревателя».
4. Шелехов И.Ю., Шелехова И.В., Иванов Н.А., Kim В.С., Головных И.М.: Патент на полезную модель №109628 от 21.03.2011 г. «Нагревательный элемент»