

Применение ультразвука в технологии изготовления оксидноцинковых варисторов

Ультразвуковые технологии, позволяющие повысить эксплуатационные характеристики оксидноцинковых варисторов (ОЦВ), являются технически и экономически обоснованной альтернативой созданию варисторов новых поколений на базе разрабатываемых материалов.

В настоящей работе обобщены результаты наших исследований, выполненных в последние годы, и приведших к созданию высокоэффективных ОЦВ в форме дисков с различным отношением диаметра к высоте.

1. Ультразвуковое формообразование оксидноцинковой керамики.

В многооперационном процессе изготовления ОЦВ формообразование – уплотнение керамического порошка в прессформе – одна из основных опе-

раций, на которой закладываются будущие характеристики варистора. К основным преимуществам ультразвукового формообразования перед промышленным процессом холодного одноосного прессования следует отнести возможность создания изделий сложной конфигурации при одновременном снижении в несколько раз статического усилия прессования [1-7].

Физическая модель процесса. Модельные представления о механизме воздействия мощного ультразвука на керамический порошок сформулируем на примере схемы процесса, по которой порошок засыпается в прессформу, при этом дно прессформы, соединенное с волноводом ультразвукового преобразователя, совершает продольные колебания.

Основные элементы разработанного нами механизма представим следующим образом: 1) в системе, включающей прессформу и рабочую среду – керамический порошок, создается поле упругих волн ультразвуковой частоты; 2) выбор частоты поля определяется условием превышения наименьшего размера системы длины упругой волны или соизмеримости с ней; 3) способ подвода ультразвуковых колебаний и возбуждения поля в системе выбираются из условия необходимости получения трехмерного поля колебательных скоростей частиц среды применительно к прессформе заданных размеров и конфигурации; 4) в объемном трехмерном поле колебательных скоростей частицы описывают сложные траектории, например эллипсы, оси которых – компоненты вектора колебательной скорости. При движении частицы перемешиваются и, таким образом, более равномерно размещаются внутри прессформы; 5) наличие составляющих, нормальных к стенкам прессформы и вектору силы статического давления, обеспечивает снижение силы трения частиц взвеси о стенки прессформы; 6) воздействие на частицы со стороны стенок прессформы способствует упрочнению граничащего со стенками поверхностного слоя керамического образца.

Экспериментальное исследование. В качестве определяющих факторов (параметров) процесса приняли: статическое давление P , массу взвеси частиц в прессформе M , амплитуду колебательного смещения A , частоту ультразвука f и время его воздействия t . Проведение полного факторного эксперимента при отработке технологических режимов процесса ультразвукового формообразования на ОЦВ в форме дисков диаметром 30...60 мм и толщиной 2...10 мм обеспечило создание ОЦВ с повышенными эксплуатационными характеристиками при пониженном по сравнению с промышленной технологией в 3...6 раз статическом усилии прессования.

Структуру керамических образцов, изготовленных по ультразвуковой и промышленной технологиям формообразования, исследовали методом растровой электронной микроскопии. Установлено, что воздействие ультразвука приводит к уменьшению максимальных размеров пор в 4...5 раз и обеспечивает равномерное распределение пор по объему образца.

Технологическое оборудование для ультразвукового формообразования ОЦВ включало ультразвуковой генератор с выходной мощностью $(4,0 \pm 20\%)$ кВт и регулируемой частотой $(18 \pm 7,5\%)$ кГц, а также магнитострикционный преобразователь с акустической обратной связью. Статическое давление создавалось гидравлическим прессом усилием до 50 т.

На указанном оборудовании были изготовлены ОЦВ диаметром 120 мм и высотой 10 мм. Анализ показал, что по диэлектрическим и физикомеханическим характеристикам изготовленные крупногабаритные ОЦВ не уступают лучшим зарубежным образцам. В то же время по одной из определяющих электрических характеристик – амплитуде тока пропускной способности при воздействии тока большой длительности новые ОЦВ превзошли в два раза зарубежные аналоги. Так, оксидноцинковые диски выдержали воздействие 20 импульсов тока длительностью 2000 мкс и амплитудой 2 кА.

Применение ОЦВ в форме дисков большого диаметра позволит перейти на выпуск защитных аппаратов – ограничителей перенапряжения сети 500 и 750 кВ в одноколонковом исполнении, что существенно повысит надежность и долговечность этих аппаратов.

2. Ультразвуковая металлизация оксидноцинковой керамики.

В работах [8-12] представлены результаты исследования нового процесса создания металлических электродов на образцах из оксидноцинковой керамики. В основу процесса положили способ ультразвуковой металлизации (УЗМ), реализуемый по схеме «тонкого слоя» [13]. Материалом электродов служили двойные и тройные эвтектические сплавы олова, цинка и кадмия. К основным преимуществам новой технологии по сравнению с промышленной технологией электродугового напыления алюминия (шоопирования) следует отнести повышение адгезионной прочности соединения керамики с металлом, улучшение условий труда металлизатора, возможность соединения ОЦВ в колонки посредством пайки, возможность механизации процесса.

Физическая модель процесса. Использование схемы «тонкого слоя» предполагает создание поля ультразвуковых колебаний и волн 1) в жидком слое и 2) в твердом теле.

Поле в тонком жидком слое, толщина которого, как правило, много меньше длины продольной волны, представляет собой интерференционное поле продольных волн и бегущих вязких поперечных волн. Ультразвуковой преобразователь – инструмент может, к примеру, вводиться в слой жидкости, находящийся на жесткой твердой поверхности, сверху. Жидкость в слое выполняет функции акустического контакта, объема реагента, а также среды, в которой создаются столь необходимые для протекания многих технологических процессов, включая УЗМ, эффекты, как кавитация и течения. В очень тонких жидких слоях о продольных волнах говорить не приходится: частицы жидкости совершают продольно-поперечные колебания. В пограничных сло-

ях вблизи жесткой поверхности эти колебания создают гигантские градиенты скоростей, вблизи мягкой границы – давлений. В свою очередь, кавитационные пузырьки генерируют мелкомасштабные течения. Поле в слое жидкости и вторичные акустические эффекты воздействуют на процессы смачивания твердого тела жидкостью, диффузию жидкости по границам зерен твердого тела и, при определенном сочетании жидкой и твердой фаз, инициируют физико-химическое взаимодействие фаз на границе их раздела. Для воздействия на поверхность твердого тела необходимо создать упругую волну на границе с жидким слоем. Скорость распространения волны, глубина ее проникновения в твердое тело, колебательные скорости частиц тела зависят от отношения акустических свойств жидкости и твердого тела [14].

Экспериментальное исследование. В качестве определяющих факторов процесса приняли: амплитуду колебательного смещения A , зазор между излучателем и металлизированной поверхностью δ , угол наклона излучателя к металлизированной поверхности α , скорость металлизации v . Проведение полного факторного эксперимента при использовании в качестве покрытий сплавов Sn – Zn и Sn – Cd – Zn, а в качестве подложек – ОЦВ в форме дисков диаметром 30...60 мм и толщиной 2...20 мм, позволило разработать технологические режимы УЗМ, обеспечившие повышение адгезионной прочности соединений керамика – металл в 1,5...2,0 раза по сравнению с технологией шоопирования.

Физические исследования системы керамика – металл включали анализ смачивания поверхности керамики выбранными сплавами и анализ зоны контакта покрытие – подложка комплексом физических методов (оптическая и электронная микроскопия, рентгеноспектральный и рентгенофазовый анализ, масс-спектрометрия распыленных нейтралей).

В экспериментах по смачиванию установлена определяющая роль ультразвука в сближении фаз на расстояния межмолекулярного взаимодействия; физическими методами в зоне контакта керамика – металл обнаружена переходная область и установлен преимущественно межкристаллитный характер проникновения металла в керамику. По результатам исследований предложен обобщенный физикохимический механизм формирования прочной связи в системе.

Технологическое оборудование для УЗМ включало генератор аналогичный использованному в процессе ультразвукового формообразования ОЦВ и специально разработанный станок для УЗМ, обеспечивающий высокую производительность процесса.

На указанном оборудовании изготовлены защитные устройства, включающие соединения ОЦВ в колонки как между собой, так и с деталями из алюминия, латуни и стали. Испытания устройств показали снижение на порядок уровня частичных разрядов и значительное повышение стабильности к

токовым воздействиям при одновременном снижении массогабаритных характеристик аппаратов и повышении производительности труда при сборке.

Литература:

1. *Иманов Г.М., Красавина М.А., Лунин С.А., Попов Н.М., Пугачев С.И.* «Электротехника 2010». –Кубинка: 1994. Т.2. С.88-97.
2. *Красавина М.А., Легуша Ф.Ф., Пугачев С.И.* «Новое в экологии». – Спб:1998. Т.2. С.106-108.
3. *Красавина М.А., Легуша Ф.Ф., Пугачев С.И., Харитонов Д.О.* «Моринтех-99». –СПб: 1999. Т.1. С. 235-237.
4. *Erofeev A. A., Krasavina M.A., Legusha F.F, Pugachev S.I.* // J. of Vibroengineering, 1999. No 1. P.41-43.
5. *Ерофеев А.А., Красавина М.А., Легуша Ф.Ф., Попов Н.М., Пугачев С.И., Семенова Н.Г., Харитонов Д.О.* «АПЭП – 2000». –Новосибирск: 2000. Т.3. С. 62-65.
6. Патент РФ № 2100313. Способ изготовления изделий из порошка. Оpubл. 27.12.97. Бюл. № 36. /Ерофеев А.А., Иманов Г.М., Красавина М.А. и др.
7. Патент РФ №2171177. Способ формообразования изделий из дисперсных материалов. Оpubл. 27.07.2001. Бюл. №21. /Ерофеев А.А., Красавина М.А., Легуша Ф.Ф. и др.
8. *Козловский Л.В., Красавина М.А., Пугачев С.И.* «Новые разработки в ультразвуковой технике и их применение в народном хозяйстве». –Л.: 1987. С. 17-20.
9. *Красавина М.А., Кувишинов Г.И., Пугачев С.И., Семенова Н.Г.* //ФиХОМ, 1996. Вып. 4. С. 100-107.
10. *Красавина М.А., Легуша Ф.Ф., Пугачев С.И.* «Моринтех-99». –СПб: 1999. Т.1. С. 238-241.
11. *Козловский Л.В., Красавина М.А., Пугачев С.И., Семенова Н.Г.* «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности». –СПб: 2000. Т.1. С. 192-195.
12. *Красавина М.А., Пугачев С.И., Семенова Н.Г., Третьяков В.В.* «XI сессия Российского акустического общества». –М.: 2001. Т.2. С. 254-258.
13. *Прохоренко П.П., Пугачев С.И., Семенова Н.Г.* Ультразвуковая металлизация материалов. –Минск: Наука и техника, 1987.
14. *Пугачев С.И., Семенова Н.Г.* «Ультразвук в технологии машиностроения-91». –Архангельск: 1991. С.128-131.