

УДК 621.762.4

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПРОЦЕСС УПЛОТНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Клубович В. В., Рубаник В. В.

Институт технической акустики, Витебск, Беларусь
ita@vitebsk.by

В последнее время широко используют УЗК при прессовании металлических порошковых материалов, которые позволяют значительно снизить пористость, увеличить прочность и твердость прессовок [1]. В связи с этим, представляет интерес исследовать процесс прессования с наложением УЗК порошков керамических материалов, в частности, сегнето- и пьезокерамических, которые использовали при изготовлении волоочильного инструмента, и их свойства. Это в какой-то мере позволит выяснить механизм формоизменения происходящий в кабелях в металлических оболочках с минеральной изоляцией при их волочении с наложением УЗК.

Традиционный способ прессования изделий из порошка в металлический пресс-форме [1] предусматривает загрузку порошка в матрицу и уплотнение путём наложения статического давления. Недостатком этого способа является большая неравномерность распределения плотности по объёму, что приводит к разрушению прессованного или спечённого изделия. Применение высокого давления прессования для порошков твёрдых и хрупких материалов способствует возникновению больших упругих напряжений в местах контактов между частицами и вызывает хрупкое разрушение этих участков при снятии давления, последнее приводит к тому, что формирование изделий из порошков больших размеров и сложной формы становится практически невозможным из-за их плохого качества.

Прессование порошка с использованием энергии УЗК предполагает непосредственное воздействие ультразвука на порошок через пуансон или матрицу на протяжении всего цикла прессования или начиная с какого-то определённого давления [1]. Помимо положительного эффекта, широко описанного в литературе, заключающегося в снижении давления прессования, обеспечивающего достижение необходимой плотности прессовок и равномерного распределения внутренних напряжений в порошке, ультразвуковые колебания приводят и к интенсивному износу прессформы.

Это обусловлено тем, что в процессе прессования под действием ультразвуковых колебаний частицы порошка интенсивно проникают в зазор между пуансоном и матрицей пресс-формы и, действуя как абразив, вызывают быстрое их разрушение. Кроме того, в процессе прессования меняется усилие прессования, а значит, и акустическая нагрузка. В результате акустическая система выходит из резонансного режима, и эффективность использования ультразвуковых колебаний снижается.

Наибольшую целесообразность использования ультразвука при прессовании определяет необходимость получения прессовок с отсутствием градиента механических напряжений, так как в противном случае при последующих операциях происходит разрушение изделия в результате расслоения. Снижение же давления прессования за счёт использования УЗК не является основным преимуществом. Во-первых, применение УЗК требует дополнительных энергетических затрат, во-вторых, достичь большей плотности прессовки можно, причём гораздо проще, за счёт увеличения давления.

Однако нужно отметить, что увеличивать давление можно до определённого оптимального значения. Так, для титаната бария оно составляет 30+70 МПа. Превышение

оптимального давления вызывает появление трещин. Это обусловлено тем, что с ростом давления прессования, упругие силы, вызывающие растрескивание, растут пропорционально давлению, а прочность брикета увеличивается незначительно. В результате, при достижении некоторой величины давления прессования, разрушающие упругие силы превышают прочность прессовок, и появляются трещины в прессовании издсли.

На основании изложенных физических закономерностей процесса прессования предложено [2] в начале прессование вести до оптимального значения давления без наложения УЗК. Затем, с целью снятия неравномерности механических напряжений в образце, в статическом состоянии, при зафиксированном оптимальном давлении воздействовать на образец ультразвуковыми колебаниями.

Наложение ультразвуковых колебаний на прессуемый порошок в течение времени, меньшего 1 с, неэффективно, т. к. энергии ультразвуковых колебаний в этом случае недостаточно для перераспределения частиц порошка по объёму и снятия возникшего в процессе прессования неравномерного распределения напряжения. Как показали исследования, ультразвуковое воздействие в течение 1+5 с приводит к полному выравниванию напряжений по всему объёму прессовки. Увеличение времени воздействия ультразвука более 5 с не приводит к улучшению качества прессовки и сокращает срок службы пресс-формы.

Образцы в виде таблеток диаметром 10 мм из порошка синтезированного титаната бария марки "ч" прессовали при давлении от 2 до 200 МПа с наложением УЗК и без. Путём сравнительного анализа изучали зависимость плотности образцов, микроструктуры и диэлектрической проницаемости от давления прессования до и после спекания с наложением ультразвука в процессе прессования и без наложения ультразвука.

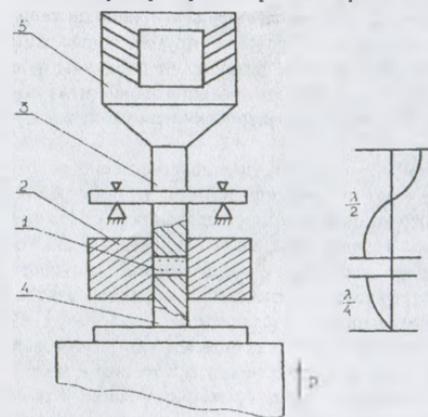


Рис. 1. Схема ультразвукового прессования порошка: 1 - порошок; 2 - матрица; 3 - верхний пуансон-волновод; 4 - нижний пуансон-отражатель; 5 - магнитострикционный преобразователь

Плотность прессовок определяли расчётным путём после измерения геометрических размеров и взвешивания их. Спекание образцов проводили в электрических печах при температуре 1360°С в течение 2 часов. Микроструктуру образцов изучали с помощью микроскопа ММР-2Р. Ультразвуковые колебания частотой 22 кГц в очаг деформации порошка подводили посредством передачи их от магнитострикционного преобразователя через стальной полуволновой волновод (рис.1), который служил пуансоном прессформы.

Величина амплитуды УЗК на торце пуансона составляла 12+14 мкм. Нижний пуансон был выполнен в виде четверть-волнового отражателя. Источником

ультразвуковых колебаний служил генератор УЗДН-2Т. Всю систему крепили к плите пресса через фланец волновода, выполненный в узле смещений. Усиле прессования сообщали от цилиндра гидравлического пресса через нижний пуансон матрицы.

Для изучения поведения порошка при прессовании, как с наложением, так и без наложения УЗК использовали метод голографической интерферометрии [3-5]. Для этого

была изготовлена специальная прессформа, матрица которой выполнена в виде прямоугольной призмы с прозрачной стенкой. Анализ зависимостей (рис.2) плотности порошков от давления при статическом и ультразвуковом прессовании титаната бария показывает, что применение ультразвуковых колебаний повышает плотность образцов, полученных при одних и тех же давлениях, по сравнению со статическим прессованием. Эта разница особенно значительна при низких значениях давления. Ультразвуковые колебания способствуют снижению пористости керамики (рис.3) и более равномерно распределению пор по объёму.

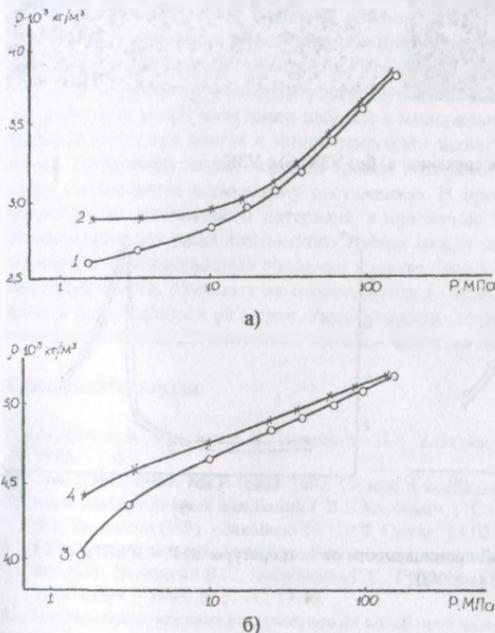


Рис. 2. Зависимости плотностей образцов BaTiO₃ от давления прессования: а) до спекания; б) после спекания; 1, 3 – без УЗК, 2, 4 – с наложением УЗК

ционной картины (рис.5, б). При прессовании с ультразвуком прессуемый порошок проходит такие же стадии уплотнения, как и без ультразвука, и при определённой плотности брикет начинает колебаться как монолитное тело (рис.5, г).

При озвучивании брикета той же плотности, но без перемещения пуансона можно наблюдать распределение УЗК по объёму. Интерференционные полосы на интерферограмме, полученной при прессовании с УЗК, менее изогнуты (рис.5, г) по сравнению с полосами на интерферограмме брикета, спрессованного без УЗК (рис.5, б). Это свидетельствует о том, что при прессовании в ультразвуковом поле порошок раньше достигает состояния, когда частицы начинают двигаться упорядоченно и снижаются силы контактного трения между порошком и стенками матрицы, что обеспечивает заданную плотность при меньших статических нагрузках.

Ход температурной зависимости диэлектрической проницаемости (рис.4) керамических образцов титаната бария, полученных при прессовании с ультразвуком практически такой же, как и при статическом прессовании, однако значения диэлектрической проницаемости образцов при одних и тех же значениях давления и температуры на 10÷15 % выше, чем у образцов, полученных без использования УЗК.

Исследования процесса уплотнения порошка методом голографической интерферометрии показали (рис.5), что на начальном этапе прессования без УЗК уплотнение происходит в ограниченной области у верхнего пуансона, затем охватывает среднюю и нижнюю часть прессовки (рис.5, а). С увеличением плотности брикета происходит упорядочение в движении частиц, уменьшается проскальзывание, увеличивается контраст интерферен-

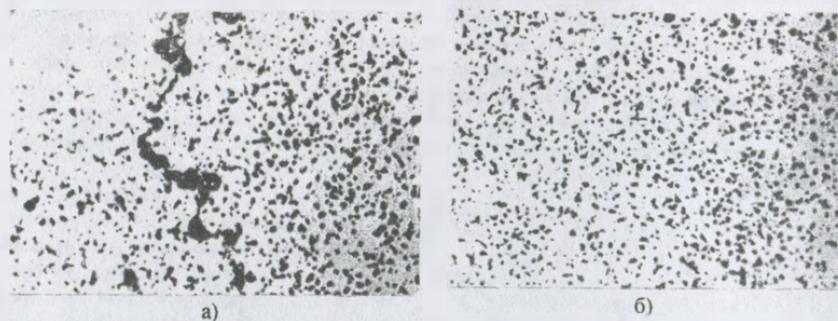


Рис. 3. Микроструктура BaTiO₃ после спекания: а) без УЗК; б) с УЗК

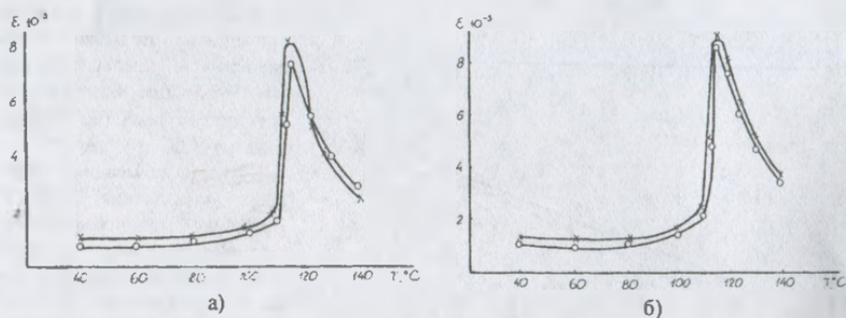


Рис. 4. Зависимости диэлектрической проницаемости от температуры: а) $P = 30$ МПа; б) $P = 160$ МПа, кривые о – без УЗК, х – с УЗК

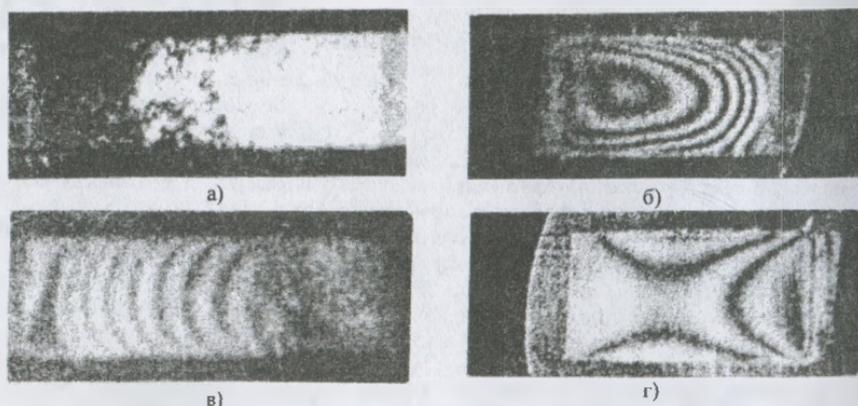


Рис. 5. Интерферограммы образцов титаната бария: $P = 30$ МПа, а, б – без УЗК; в, г – с УЗК

Таким образом, приведённые результаты позволяют сделать вывод о том, что механизм ультразвукового воздействия на процесс прессования керамических и металлических порошков одинаков. Применение ультразвука при прессовании сегнетокерамики способствует улучшению её механических и диэлектрических свойств [6].

Нужно отметить, что для получения сегнето-, пьезо- и ферритовых материалов по керамической технологии требуются достаточно высокие температуры порядка $1200 \pm 1300^\circ\text{C}$, что приводит к высоким энергозатратам. Поэтому одной из актуальных проблем синтеза и спекания керамики является снижение температуры обжига. Методом рентгеноструктурного и фазового анализа показано [7], что интервал образования BaTiO_3 из порошковых смесей при обжиге в ультразвуковом поле сдвигается на 100°C и более в сторону низких температур. Кроме того, уменьшается время термообработки.

Рассмотренный механизм ультразвукового воздействия на порошковые материалы действует и при волочении кабелей с минеральной изоляцией. Передний конец кабельной заготовки вместе с жилой закреплён захватом волоочильной машины, а задний конец внутренней жилы - силами трения поверхности жилы о порошок. В результате жила подвергается одноосному растяжению. В процессе термообработки происходит разрыхление порошкового материала, а наложение УЗК в процессе последующего волочения снижает силы контактного трения между частицами порошка, а также между порошком и поверхностью оболочки и жилы. Это в свою очередь снижает обрывность внутренних жил, улучшает их однородность по длине и позволяет получать проволоку вплоть до микронных размеров. Разработанную технологию ультразвукового прессования использовали для получения изоляционных шашек [8].

Список литературы

1. Агранат Б.А., Гудович А.П., Нежевенко П.Б. Ультразвук в порошковой металлургии. - М.: 1986. - 168 с.
2. Пат. 2007272 РФ, МКИ В 22F 3102. Способ прессования порошкового материала с наложением ультразвуковых колебаний / В.В.Клубович, Г.С.Бобровская, В.В.Рубаник, В.К.Высоцкий (РФ). - Заявлено 19.12.90; Опубл. 15.02.94. - 3 с.
3. Прессование порошков титаната бария с наложением ультразвуковых колебаний / Клубович В.В., Высоцкий В.К., Бобровская Г.С., Рубаник В.В. // Вестн АН Беларуси, Сер. физ.-техн. наук. - 1994, № 3. - С. 17-19.
4. Исследование влияния ультразвуковых колебаний на процесс прессования керамического порошка методом голографической интерферометрии / Клубович В.В., Рубаник В.В., Высоцкий В.К. и др. // VI Всесоюзная конференция по голографии. Тез. докл. - Витебск, 1990 - С. 160-161.
5. The impact of ultrasound vibrations on pressing process and the properties of barium titanate ceramic / Klubovich V.V., Visotskij N.K., Rubanick V.V., Bobrovskaya G.S. // World Congress on Ultrasonics. - Berlin. - 1995, September.
6. Клубович В.В., Рубаник В.В., Высоцкий В.К., Бобровская Г.С. Исследование влияния ультразвуковых колебаний на процесс прессования и свойства керамики титаната бария / Ред. журн. "Изв.АНБ. Сер. физ.-техн.и." - Минск, 1991.-10с.- Деп. в ВИНТИ 27.02.92, № 664 - В92.
7. Рубаник В.В., Высоцкий В.К., Бобровская Г.С. Синтез титаната бария в ультразвуковом поле // Международная конференция "Колебания и волны в экологии, техпроцессах и диагностике". Тез. докл. - Минск, 1993. - С. 112.
8. Жаростойкие кабели с минеральной изоляцией / Сучков В.Ф. и др. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 120 с.