

УДК 537.226.4

ВЛИЯНИЕ ШЛИФОВКИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ

© 2003 г. Н.Я. Егоров

Mechanical processing increases fracture toughness of piezoceramics that shows existence of compressing surface mechanical stresses.

Поверхностные дефекты в твердых телах наиболее опасны при воздействии механических напряжений, но механическая обработка (шлифовка) поверхностей пьезокерамических образцов является неотъемлемой технологической операцией. При шлифовке поверхности (помимо трещиноподобных дефектов) в поверхностном слое могут возникать и сжимающие механические напряжения, препятствующие развитию трещин [1]. Конкуренция этих эффектов определяет прочностные свойства образцов. Целью настоящей работы явилось исследование влияния операции шлифовки на прочностные характеристики пьезокерамики.

Для исследований был использован промышленный пьезокерамический материал ЦТБС-3. Поляризованные образцы призматической формы имели размер 50×9×5 мм. Часть образцов располяризовывалась в термошкафе при температуре $T = 773$ К в течение 3 ч. Половина поляризованных и располяризованных образцов подвергалась механической обработке на шлифовальном станке с применением шлифовального порошка зернистостью ~50 мкм. Шлифовалась наибольшая грань образца без электрода. Все образцы подвергались индентированию с заранее известной нагрузкой алмазной пирамидой Виккерса в центре поверхности, которая при последующих испытаниях окажется в состоянии растяжения. Индентор Виккерса ориентировался так, чтобы одна из образующихся полукруглых поверхностных трещин была перпендикулярна напряжению растяжения при изгибе. Нагрузку на индентор P изменяли от 2 до 400 Н. Для уменьшения докритического роста трещин и для снижения влияния внешней среды в место внедрения индентора помещали каплю минерального масла, которая покрывала трещину в течение всего цикла нагружения. Испытания на прочность производились по методу четырехточечного изгиба с базами 36 и 12 мм (рис. 1) при скорости нагружения 0,5 мм/мин на разрывной машине 2038Р-0,05. Значения прочности на изгиб рассчитывались на основании разрушающей нагрузки F и размеров образца.

Результаты прочностных испытаний пьезокерамики в зависимости от величины инденторной нагрузки на шлифованных и располяризованных образцах приведены на рис. 2, а на рис. 3 – для располяризованных и поляризованных образцов. При малых нагрузках на индентор разрушение отдельных образцов начиналось с «естественных» дефектов (внутренних и внешних де-

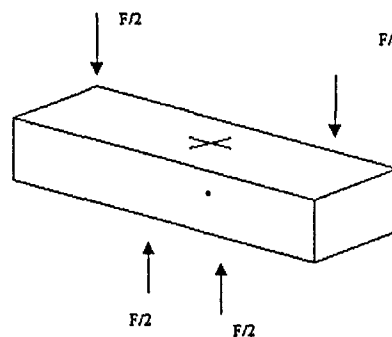


Рис. 1. Схема испытаний индентированных пьезокерамических образцов

фектов в виде микропор, включений и микротрещин, существующих в пьезокерамике вследствие особенностей технологии ее изготовления). В таких случаях результаты относились к испытаниям с неиндентированными образцами. Заштрихованная область на рисунках представляет собой результаты измерения прочности для образцов, разрушившихся от «естественных» дефектов. При увеличении нагрузки на индентор разрушение начиналось с внедренных трещин, что контролировалось методами фрактографии. Вязкость разрушения K_{Ic} определялась на основании соотношения [2]

$$K_{Ic} = \eta(E/H)^{1/8}(\sigma P^{1/3})^{3/4}, \quad (1)$$

где $\eta = 0,59$; σ – разрушающее напряжение; E – модуль Юнга; H – твердость по Виккерсу. Данный метод испытаний отражает суммарное воздействие приложенного извне поля напряжения и остаточного поля, возникающего вокруг отпечатка. Вязкость разрушения может быть определена по двум легко измеряемым параметрам σ и P , при этом не требуется измерение размера трещин. Основным свойством уравнения (1) является тот факт, что произведение $\sigma P^{1/3}$ для данного материала есть постоянная величина в достаточно большом диапазоне нагрузок вдавливания.

При высоких нагрузках на индентор результаты эксперимента хорошо согласуются с предсказанными по уравнению (1). При малых нагрузках происходит отклонение экспериментальных данных от теоретического поведения. Эти данные можно интерпретировать с точки зрения повышения сопротивления раз-

рушению (возрастающая кривая сопротивления) по мере роста трещин от своего начального размера до своего конечного критического размера перед разрушением [3, 4]. Поскольку энергия, требуемая для приведения трещины в движение, возрастает по мере роста трещины, начальные этапы роста трещин являются устойчивыми и для приведения трещины в движение приложенная извне сила должна быть увеличена. Наблюдаемая вязкость разрушения пьезокерамики, характеризующая поведение равновесных трещин, растет по мере увеличения длины трещины (величины инденторной нагрузки).

Из рис. 2 видно, что процесс шлифовки повышает прочность индентированных образцов (вязкость разрушения), что свидетельствует о наличии сжимающих поверхностных механических напряжений. Этот вывод согласуется с картиной поля упругопластических напряжений вокруг отдельных центров индентирования. Участок трещины в области, прилегающей к отпечатку от индентора, испытывает воздействие растягивающих напряжений со стороны зоны деформированного материала, окружающего отпечаток, но он же испытывает сжимающие напряжения со стороны поверхностных зон деформаций, вызванных механической обработкой. Можно предположить, что результирующее влияние на трещину окружающего поврежденного слоя будет преобладать и приводить к повышению уровня напряжений, необходимых для разрушения.

Прочность шлифованных после поляризации образцов оказалась на 20 % выше прочности поляризованных образцов. Сравнение результатов эксперимента располяризованных и поляризованных образцов (рис. 3) показывает, что вязкость разрушения в направлении поляризации выше, чем вязкость разрушения располяризованного материала, что находится в соответствии с результатами по анизотропии K_{Ic} [5].

Полученные результаты можно расценивать как подтверждение того факта, что механическая обработка вносит сжимающие поверхностные напряжения в пьезокерамические материалы.

Литература

1. De With J., Parren J.E.D. // Proc. Brit. Ceram. Soc. 1984. № 34. P. 99–108.

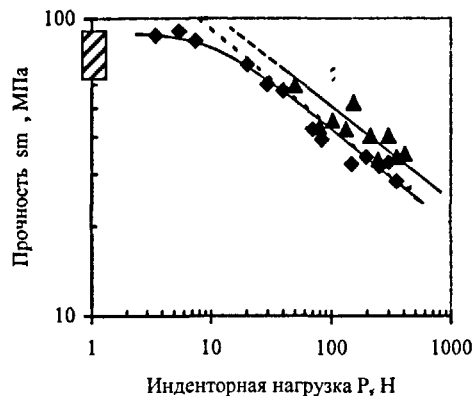


Рис. 2. Зависимость прочности на изгиб от величины нагрузки на индентор для пьезокерамики ЦТБС-3: располяризованные (1) и шлифованные (2) образцы

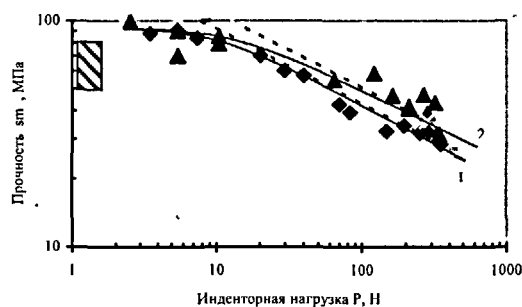


Рис. 3. Зависимость прочности на изгиб от величины нагрузки на индентор для пьезокерамики ЦТБС-3: располяризованные (1) и поляризованные (2) образцы

2. Chantikul P., Anstis I.R., Lawn B.R., Marshall D.B. // J. Amer. Ceram. Soc. 1981. Vol. 64. № 9. P. 539–543.
3. Cook R.F., Lawn B.R., Fairbanks C.J. // J. Amer. Ceram. Soc. 1985. Vol. 68. № 11. P. 604–615.
4. Егоров Н.Я., Крамаров С.О., Егорова С.И. // Материалы VII Междунар. сем. по физике сегнетоэлектриков-полупроводников (24–27 сентября 1996 г.). Ростов н/Д, 1996. С. 215.
5. Писаренко Г.Г. Прочность пьезокерамики. Киев, 1987.

СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОДНОГО СЛОЯ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ПРИБЛИЖЕНИИ СИЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

© 2003 г. Г.В. Куновых, В.Н. Морозов

Characteristic scale of electric values distributions is determined by electrode layer thickness.

Предполагая в приземном слое сильное турбулентное перемешивание, рассмотрим задачу о струк-

туре турбулентного электродного слоя для различных случаев стратификации приземного слоя. Коэффици-