

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ РАЗРУШЕНИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ КВАРЦА И ПЬЕЗОКЕРАМИК СУБМИКРОСЕКУНДНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ДАВЛЕНИЯ

В роботі представлено результати експериментальних досліджень руйнування монокристалів кварцу та п'єзокерамік при дії імпульсів тиску тривалістю ~ 80 нсек. Виявлено генерацію електромагнітних імпульсів тривалістю 2-10 нсек при виникненні електромагнітного випромінювання з процесами мікроруйнувань, що виникають при відкольному руйнуванні. Відзначається, що вивчення електромагнітного випромінювання в дециметровому діапазоні довжин хвиль, який відповідає тривалості реєструємих нами імпульсів, можливо, може сприяти більш ранньому прогнозуванню руйнувань при землетрусах і гірничовидобутку.

ELECTROMAGNETIC RADIATION AT DESTRUCTION OF MONOCRYSTALS OF QUARTZ AND PIEZOCERAMIC SUBMICROSECOND IMPULSES OF PRESSURE

In work the results of experimental researches of quartz monocrystals destruction and piezoceramic are submitted at influence of impulses of pressure by duration 80 ns. The generation of electromagnetic impulses by duration 2-10 ns is found out at occurrence of microdestructions in piezoelectric. The correlation of occurrence of electromagnetic radiation with processes of microdestructions occurring at break destruction is shown. It is marked, that the study of electromagnetic radiation in decimeter range of waves' lengths, which meets to duration of pulses, registered by us, probably, can promote earlier forecasting of destructions at earthquakes and mine-production.

Характерные длительности импульсов электромагнитного излучения, регистрируемых при землетрясениях и геофизической разведке рудных тел с пьезоэлектрическими свойствами, а также и при лабораторных исследованиях, обычно имеют значения более чем $2-3 \times 10^{-6}$ сек [1-3]. При этом значения длительности ударных нагрузок превышают 10^{-6} сек.

В то же время, в процессе экспериментальных исследований динамической прочности и упругопластических свойств материалов при субмикросекундном ударном нагружении с длительностями 50 - 250 нсек [4, 5], неоднократно на осциллограммах сигналов с пьезоэлектрических датчиков, на фоне регистрируемых импульсов механических напряжений, фиксировались одиночные, или серии коротких (2-10 нсек) импульсов электрического тока.

На рис. 1 представлены характерные осциллограммы сигналов при нагружении образцов кварца X-среза.

При давлениях нагружения, превышающих величину ~ 150 МПа возникновение сигналов происходило в различное время, зачастую, начиная с фронта регистрируемых импульсов давления. Чувствительность пьезопластин и их макроскопическая целостность сохранялась. При повторных нагружениях увеличивалось количество регистрируемых импульсов (рис. 1в), снижалась чувствительность пьезопластин и возникали макротрещины. Исследование электрических сигналов с пьезопластин и антенны (виток, расположенный вокруг боковой поверхности пьезоэлемента, нагруженный на сопротивление 50 Ом) показали, что сигналы, регистрируемые антенной и обусловленные магнитной со-

ставляющей поля, появлялись одновременно с импульсами тока с пьезодатчика.

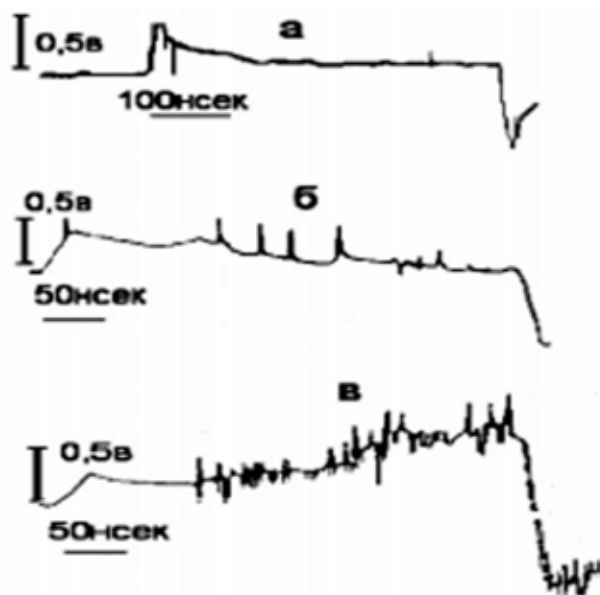


Рис. 1 - Осциллограммы сигналов тока с пьезодатчиков из SiO₂ х-среза

Причиной возникновения коротких импульсов электромагнитного излучения является образование новых поверхностей в результате разрушений на микроструктурном уровне, что приводит к появлению локальных градиентов поляризации и высокой напряженности электрического поля. Наиболее эффективным механизмом генерации электромагнитных импульсов в пьезоэлектриках, по-видимому, является электрический пробой. Оценки и измерения напряженности электрического поля в пьезоэлектриках в устье трещин [6] дают значения порядка 10^6 - 10^8 в/м достаточные для возникновения пробоя.

В описанных выше экспериментах диаметр зоны нагружения превышал размеры пьезодатчиков. Поэтому возникновение электромагнитных импульсов на фронтах импульсов сжатия неудивительно и объясняется микроразрушениями вблизи боковой поверхности датчиков в волне разгрузки. Тем более известно, что поверхностная прочность, таких хрупких материалов как кварц, за счет технологических процессов обработки, значительно ниже объемной.

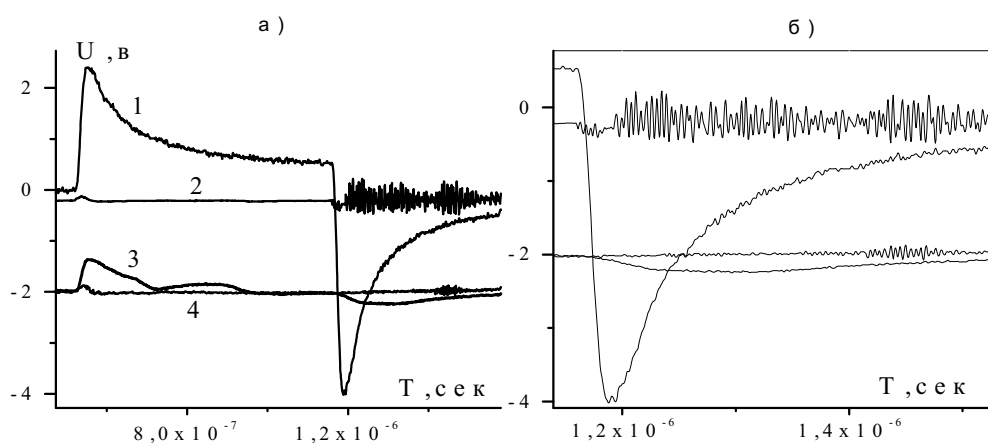
Интерес представляет изучение корреляции возникновения и эволюции электромагнитных импульсов с процессами микроразрушений при отколе в условиях ударного нагружения субмикросекундной длительности.

Для разделения по времени процессов разрушения с боковых поверхностей и при отколе, были проведены исследования на образцах большего размера. Исследовались образцы монокристаллов кварца X-среза диаметром 24 мм и толщиной 3,65 мм, а также образцы из пьезокерамики ЦТБС-3 (24x5,68 мм) при размере области нагружения 8 мм. В такой геометрии эксперимента образование волны разгрузки на боковой поверхности образцов будет запаздывать, более чем на 10^{-6} сек, относительно времени выхода продольной волны на свободную поверхность.

Нагружение образцов осуществлялось импульсами давления длительностью ~80 нсек, возбуждаемых при воздействии импульсного лазерного излучения на тонкий слой алюминия, прижатый к акустическому волноводу из Ti, в контакте с которым находились исследуемые образцы. Для реализации плоского нагружения осуществлялись меры по равномерному распределению лазерной энергии по области облучения.

Датчики работали в режиме "короткого замыкания" ($R=50 \text{ Ом}$). Одновременно с измерением тока с пьезопластин регистрировался сигнал с катушки индуктивности из 6 витков диаметром 27 мм, расположенной вокруг образцов. Временное разрешение тракта регистрации было ограничено 2 нсек.

На рис. 2а,б представлены осциллограммы тока с кварцевого образца (кривые 1, 3) и катушки индуктивности (кривые 2, 4), соответствующие нагружению кварцевого образца давлением 450 МПа. Индуктивный датчик регистрирует возникновение импульсов электромагнитного излучения (2) с длительностями 2-12 нсек. Появление сигналов с индуктивного датчика совпадает по времени с формированием и ростом растягивающих напряжений вблизи свободной поверхности образца на глубине ~85 мкм от границы, что, по-видимому, обусловлено процессами микроразрушений на дефектах технологической природы присутствующих вблизи поверхности. Наибольшая же интенсивность электромагнитного излучения достигается в момент формирования максимальных растягивающих напряжений на расстоянии ~260 мкм от свободной поверхности, которое соответствует образованию откола. Такое значение толщины откольного слоя подтверждалось фрактографическими исследованиями. Последующий немонотонный характер изменения амплитуды излучения обусловлен, по-видимому, развитием микроразрушений вследствие реверберации импульса напряжений в откольном слое.



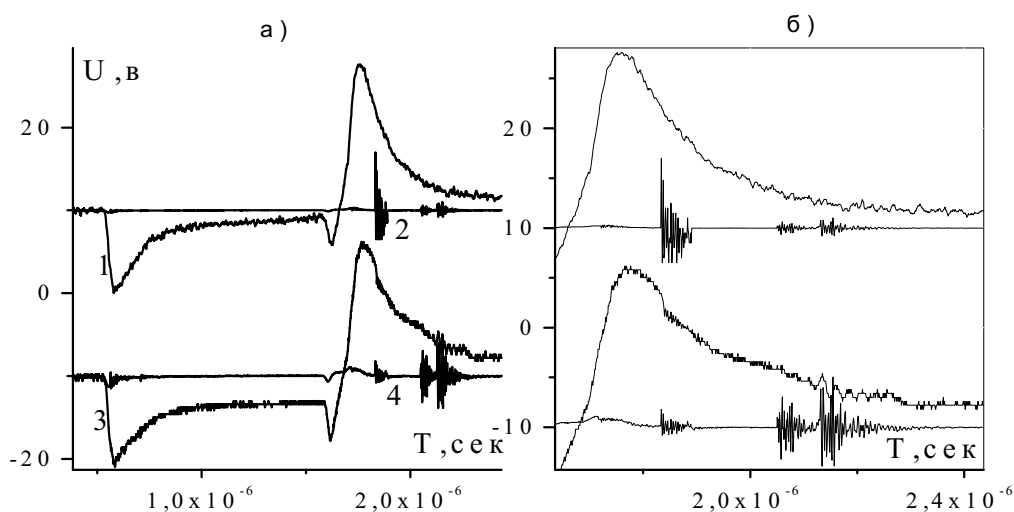
1,3 – осциллограммы тока с пьезообразцов; 2,4 – осциллограммы с индуктивного датчика

Рис. 2 – Осциллограммы сигналов при возникновении откола в образец SiO_2 х-срез (24x3,65мм); б – увеличенный фрагмент осциллограммы, соответствующий выходу импульса сжатия на свободную поверхность образцов.

Повторное нагружение приводило к макроразрушению образцов (кривые 3, 4) – раскалыванию по диаметру на 3-4 части с явно выраженной областью откола у свободной поверхности.

На фрактограммах поверхности мелких осколков наблюдаются очаги микроразрушений (рис. 4а). При этом большая часть очагов характеризуется очень гладкой поверхностью, что, возможно, обусловлено высокой температурой при электрическом пробое в области актов микроразрушений.

На рис.3 приведены аналогичные осциллограммы для случая нагружения образца пьезокерамики. В отличие от кварца, время появления электромагнитного излучения (2)



1, 3 – осциллограммы тока с пьезообразцов; 2, 4 – осциллограммы с индуктивного датчика

Рис. 3 – Осциллограммы сигналов при возникновении откола в образец пьезокерамика ЦТБС-3 (24x5,68 мм), б – увеличенные фрагменты осциллограмм, соответствующие выходу импульса сжатия на свободную поверхность образцов.

совпадает с моментом формирования максимального растягивающего напряжения на глубине $\sim 430\mu\text{м}$ от свободной поверхности, что совпадало с измеренными значениями толщины откольного слоя. Повторные нагружения образцов (3,4) приводили к макроразрушениям также представляющих совокупность разрушений с боковых поверхностей, в отличие от кварца, более четко выраженным отколом. Интенсивные всплески электромагнитного излучения, появляющиеся при повторном нагружении образцов обусловлены развитием процесса разрушения при реверберации импульсных напряжений в откольном слое. На рис.4б приведены фрактограммы области откола в образце пьезокерамики ЦТБС-3.

Таким образом, проведенные эксперименты позволили обнаружить, что электромагнитные импульсы при разрушении пьезоматериалов субмикросекундными импульсами давления на три порядка короче наблюдаемых ранее. Причиной этого, по-видимому, является различие характерных масштабов структурных уровней, определяющих процесс разрушения при разных длительностях ударного воздействия. Исследования структуры электромагнитных

импульсов, в совокупности с последующим фрактографическим анализом, создают превосходную возможность получить значительную информацию о развитии процесса разрушения хрупких материалов, а также о структурных уровнях, определяющих процессы разрушения в том или ином диапазоне длительностей ударной нагрузки.

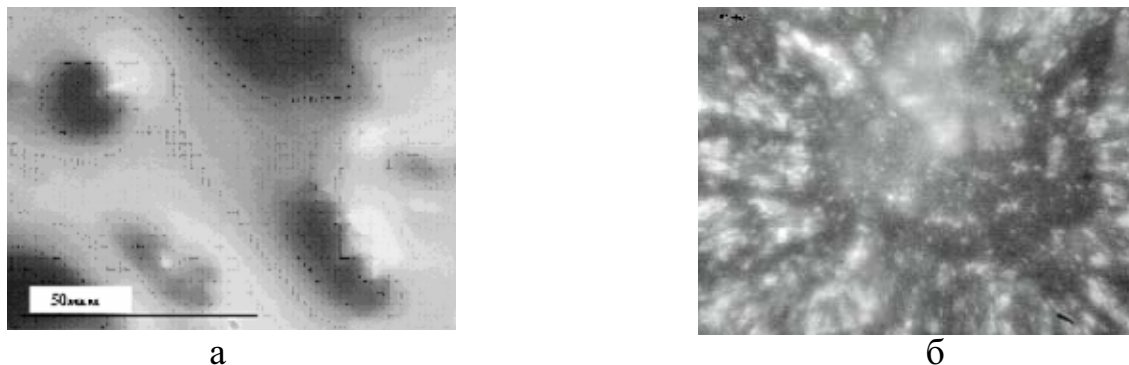


Рис. 4 – Фрактограммы разрушения, а- SiO₂ х-срез ; б- пьезокерамики

Отметим также, что изучение электромагнитного излучения в дециметровом диапазоне длин волн, который соответствует длительности регистрируемых нами импульсов излучения, возможно, может способствовать более раннему прогнозированию разрушений при землетрясениях и горнодобычи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минеев В.Н., Иванов А.Г., УФН, 1976, т.119, вып.1,с.75-109.
2. Викторов В.В., Кулич Ю.В., Сиротин А.А., препринт №310, ИПМ АН СССР, М.,1987, с.56
3. Демин В.М.,Соболев Г.А., ДАН СССР, 1987, т.295, №6,с.1337-1339
4. Судьенков Ю.В. Экспериментальные исследования распространения субмикросекундных импульсных напряжений в материалах,- дисс. на соискание уч. ст. к.ф.-м.н., Л-д.,1986.с.132
5. Никитин Ю.Б. Экспериментальные исследования прочности твердых тел при субмикросекундных нагрузениях.- дисс. . на соискание уч. ст. к.ф.-м.н., Л-д., 1993, с.123
6. Chandra B.P., Sahu R.B., Cryst. Res. And Technology, 1983,v.18, 10, p.1319-1324.