

проявляется при сравнительно больших значениях α и малых μ . Практически это означает, что чем раньше производится разрыв контура и чем меньше конечная индуктивность ВМГ, тем большую энергию можно получить в нагрузке.

Поступила 8 VI 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Биченков Е. И. Взрывные генераторы.— «Докл. АН СССР», 1967, т. 174, № 4.
2. Fowler C. M., Garn W. B., Caird R. S. Production of very high magnetic fields by implosion.— «J. Appl. Phys.», 1960, vol. 31, p. 588.
3. Shearer J. W., Abraham F. F., Aplin C. M., Benham B. P., Faulkner J. E., Ford F. C., Hill M. M., McDonald C. A., Stephens W. H., Steinberg D. J., Wilson J. R. Explosive driven magnetic-field compression generators.— «J. Appl. Phys.», 1968, vol. 39, N 4, p. 2102.
4. Crawford J. C., Damerov R. A. Explosively driven high-energy generator.— «J. Appl. Phys.», 1968, vol. 39, N 11, p. 5224.
5. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля.— М., «Мир», 1972.
6. Bernard J., Boussinesg J., Morin J., Nazet C., Patou C., Vedel J. An explosive generator-powered plasma focus.— «Phys. Lett.», 1971, vol. 35A, N 4, p.288.
7. Hawke R. S., Duerre D. E., Huebel J. G., Klapper H., Steinberg D. J., Keeler R. N. Method of isentropically compressing materials to several megabars.— «J. Appl. Phys.», 1972, vol. 43, N 6.
8. Герасимов Л. С., Искольдский А. М., Нестерихин Ю. Е., Пинус В. К. Передача энергии из индуктивного накопителя с помощью электровзрывного размыкателя тока.— ПМТФ, 1975, № 1.
9. Герасимов Л. С., Икрянников В. И., Пинчук А. И. Передача энергии из индуктивного накопителя в индуктивную нагрузку с помощью электровзрывного размыкателя тока.— ПМТФ, 1975, № 1.
10. Войтенко А. Е., Жеребненко В. И., Захаренко И. Д., Исаков В. П., Фалеев В. А. Размыкание электрического тока взрывом.— ФГВ, 1974, т. 10, № 1.

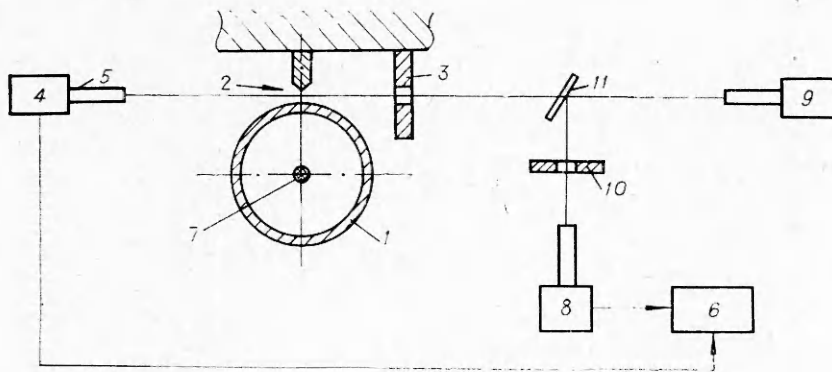
УДК 535.247

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ВЗРЫВНОМ НАГРУЖЕНИИ

*С. А. Новиков, В. В. Пермяков, А. И. Рябикин,
В. А. Синицын*

(Москва)

В практике взрывных исследований при измерении малых перемещений движущейся поверхности имеют место случаи, когда измерительные электрические датчики (типа электроконтактных, емкостных, индуктивных и т. п.) не могут быть установлены на исследуемой поверхности или даже в непосредственной близости к ней, например, в опытах с сильно нагреваемыми образцами, при наличии электромагнитных помех, при необходимости сохранения измерительных устройств в случае разрушения нагружаемых конструкций и т. п. В таких экспериментах может успешно использоваться фотометрический метод, основанный на механической модуляции светового луча, пропускаемого через узкую щель между ис-

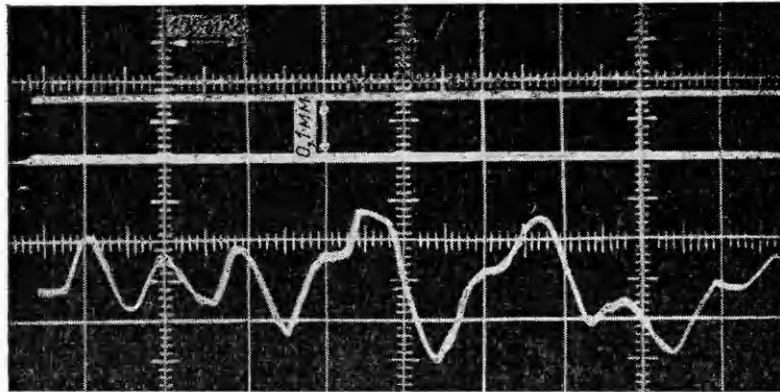


Фиг. 1

следуемой поверхностью и неподвижным ограничителем. В [1] описана экспериментальная установка для измерения малых перемещений (до 10^{-3} мм) поверхности цилиндрической оболочки при нагружении ее изнутри ударной волной, возбуждаемой электрическим взрывом проволоочки. Требуемый световой поток получался с помощью газового лазера.

В данной работе фотометрический метод измерения перемещений применен для исследования реакции замкнутых сферических и цилиндрических оболочек при взрыве в их полости зарядов взрывчатого вещества. Величина перемещений оболочек в опытах достигала 150 мкм, время регистрации 400 мкс. Схема проведения экспериментов показана на фиг. 1. Световой поток в зазоре между исследуемой оболочкой 1 и неподвижным клином 2 создавался с помощью гелий-неонового лазера типа ОКГ-11 9 и прямоугольной диафрагмы 3, расположенной перед оболочкой. После прохождения зазора световой поток попадал на ФЭУ-28 4, расположенный на некотором расстоянии (порядка одного метра) от исследуемой оболочки. Для ликвидации влияния внешнего освещения на величину выходного тока ФЭУ располагали в светозащитном цилиндрическом экране 5. Колебания оболочки возбуждались взрывом сферического заряда ВВ 7, установленного в центре оболочки. Электрические сигналы с ФЭУ регистрировались с помощью осциллографов С1-18 6. Калибровочная зависимость величины отклонения луча на экране осциллографа от величины светового зазора определялась с помощью устанавливаемой на месте зазора щели, регулируемой микрометрическим винтом в пределах 0,01—0,4 мм. Разрешающая способность экспериментальной установки составляла 10^{-3} мм. Относительная ошибка измерения перемещения не превышала 6%.

Так как точность, с которой может быть измерен световой зазор в экспериментальной установке, как правило, ниже, чем точность измерения калибровочной щели (вследствие, например, неровности или сложного профиля поверхности подвижного объекта, невозможности введения жесткой связи между подвижным объектом и неподвижным клином и т. п.), а ОКГ имеет временную нестабильность излучательной способности, в измерительную схему, предложенную в [1], внесены дополнительные элементы, позволившие сделать точность измерений не зависящей от точности выставления зазора. С этой целью световой поток от ОКГ с помощью полупрозрачного зеркала 11, установленного под углом к направлению потока, делился на две части: проходящую и отраженную. Проходящий поток пропусклся через прямоугольную диафрагму и использовался для



Фиг. 2

измерения перемещений нагруженной поверхности оболочки, а отраженный также пропусклся через прямоугольную диафрагму, затем калибровочную щель 10 и поступал на свой ФЭУ 8. Калибровка с помощью точно измеренной щели проводилась одновременно в проходящем и в отраженном лучах, что позволяло найти связь между рабочими характеристиками обоих регистрирующих каналов в один и тот же момент времени. Во время взрывного эксперимента в отраженном луче устанавливалась точно измеренная щель.

В опытах исследовались колебания замкнутой сферической стальной оболочки (Ст. 3, наружный диаметр 157 мм, толщина 15 мм), цилиндрической стальной оболочки (Ст 3, наружный диаметр 195 мм, длина 390 мм, толщина 7 мм) и цилиндрической медной оболочки (М1) таких же геометрических размеров. Одновременно с измерением перемещений оболочки оптическим методом регистрировалась скорость ее движения методом емкостного датчика аналогично работе [2]. Отмечено хорошее совпадение измерений обоими методами.

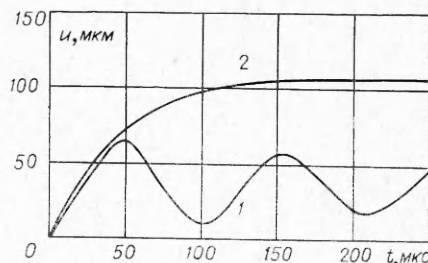
На фиг. 2 представлена осциллограмма, полученная с помощью фотометрической методики в одном из опытов со стальной сферической оболочкой. Перед опытом с помощью двух микрометрических щелей шириной 0,1 мм добивались одинаковой чувствительности по обоим каналам осциллографа С1-18. Нулевая линия на осциллограмме получена при совмещенных лучах, когда световой зазор в обеих щелях был полностью перекрыт. Во время опыта на месте одной из микрометрических щелей был зазор шириной 0,2 мм между исследуемой оболочкой и неподвижным клином. Истинная величина этого зазора определялась по отклонению луча от нулевой линии и составляла 0,21 мм. Измеренные перемещения наружной поверхности оболочки представляют собой затухающие колебания, а максимальное положительное отклонение равно 0,082 мм. Искажение начальной картины через 200 мкс после начала колебаний оболочки связано с возбуждением взаимных колебаний в системе оболочка — клин из-за наличия жесткой связи между этими элементами.

В таблице (где Q — вес заряда, u_{\max} — максимальная упругая деформация оболочки, $E_{\text{об}}$ — энергия, сообщенная оболочке при взрыве, $E_{\text{ВВ}}$ — энергия взрыва заряда ВВ) приведены результаты некоторых опытов со сферической оболочкой, в которых колебания были упругими (материал оболочки не переходил в пластическое состояние; после опыта оболочка не имела остаточных деформаций).

Q, г	v_{\max} , мм	$E_{\text{об}}$, Дж	$E_{\text{ВВ}}$, Дж	$\frac{E_{\text{об}}}{E_{\text{ВВ}}}$
15	0,052	$0,58 \cdot 10^3$	$63 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^{-3}$
25	0,078	$1,31 \cdot 10^3$	$105 \cdot 10^3$	$12 \cdot 10^{-3}$
37	0,118	$3,02 \cdot 10^3$	$155 \cdot 10^3$	$19 \cdot 10^{-3}$

В полости сферической оболочки подрывались сферические заряды ВВ (сплав ТГ50/50) весом 15; 25 и 37 г. Полученные значения максимального перемещения оболочки в упругой области позволяют определить величину энергии, сообщенной оболочке при взрыве в полости заряда ВВ данного веса (3-й столбец таблицы). В 5-м столбце таблицы эта энергия отнесена к энергии заряда ВВ, отношение составляет 1—2% (отмечается тенденция увеличения отбора энергии оболочкой с увеличением веса заряда ВВ). В опытах с цилиндрическими оболочками нагружение осуществлялось подрывом с торца цилиндрического заряда ВВ с удельной массой ВВ 0,15 г/см.

На фиг. 3 представлены типичные зависимости перемещения поверхности цилиндрических оболочек от времени (кривая 1 — стальная оболочка, 2 — медная). Колебания стальной оболочки упругие, гармонические. Период колебаний 110 мкс (совпадает с расчетным значением), максимальная радиальная деформация 0,065 мм. В опытах с медной цилиндрической оболочкой максимальное радиальное перемещение 0,110 мм достигается через 160 мкс. Измеренное значение максимальной радиальной деформации совпадает с остаточной деформацией оболочки. Упругих колебаний оболочки в опытах не зарегистрировано (амплитуда упругих колебаний, по-видимому, находилась за пределом разрешения метода).



Фиг. 3

Поступила 9 VI 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Swift R. P., Fyfe J. M. Elastic viscoplastic theory examined using radial cylindrical stress waves.— «Trans. ASME», 1970, vol. E 37, N 4.
Рус. пер. Свифт, Файф.— «Труды Америк. о-ва инженеров-механиков. Прикл. механика», 1970, т. 37, сер. E, № 4, с. 231.
2. Иванов А. Г., Новиков С. А., Синицын В. А. Исследование поведения замкнутых стальных оболочек при взрыве внутри зарядов ВВ.— ПМТФ, 1968, № 6.