

03;12

Развитие неустойчивости Рэлея–Тейлора в прочных средах. Двумерные и трехмерные возмущения

© Е.Е. Мешков, Н.В. Невмержицкий, Е.А. Сотсков

Российский федеральный ядерный центр
Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики, Саров
E-mail: root@gdd.vniief.ru

Поступило в Редакцию 10 сентября 2001 г.

Представлены результаты экспериментального исследования развития неустойчивости плоских слоев студня разной прочности, ускоряемых сжатым газом. Характер развития возмущений существенным образом изменяется при изменении прочности слоя.

Если граница двух сред движется с ускорением, направленным нормально границе от более легкой к более тяжелой среде, то такая граница является неустойчивой (неустойчивость Рэлея–Тейлора [1]). Прочность одной из сред на неустойчивой границе раздела (или обеих сред) является стабилизирующим фактором, но в то же время она не является непреодолимым препятствием для развития неустойчивости и турбулентного перемешивания. Прочность приводит к появлению критических значений амплитуды и длины волны начального возмущения, выше которых начальные возмущения беспрепятственно развиваются (см., например, [2]).

Метод исследования нестационарных гидродинамических течений при помощи студней [3] удобен для исследования развития такой неустойчивости в прочных средах [4], поскольку позволяет варьировать в широких пределах прочность путем вариации концентрации C раствора, из которого изготавливается студень, — с увеличением C прочность студня монотонно возрастает.

В описанных ниже экспериментах слой студня водного раствора желатина толщиной 6 mm ускорялся в канале квадратного сечения (4×4 cm) давлением (~ 1 МПа) продуктов взрыва газовой взрывчатой

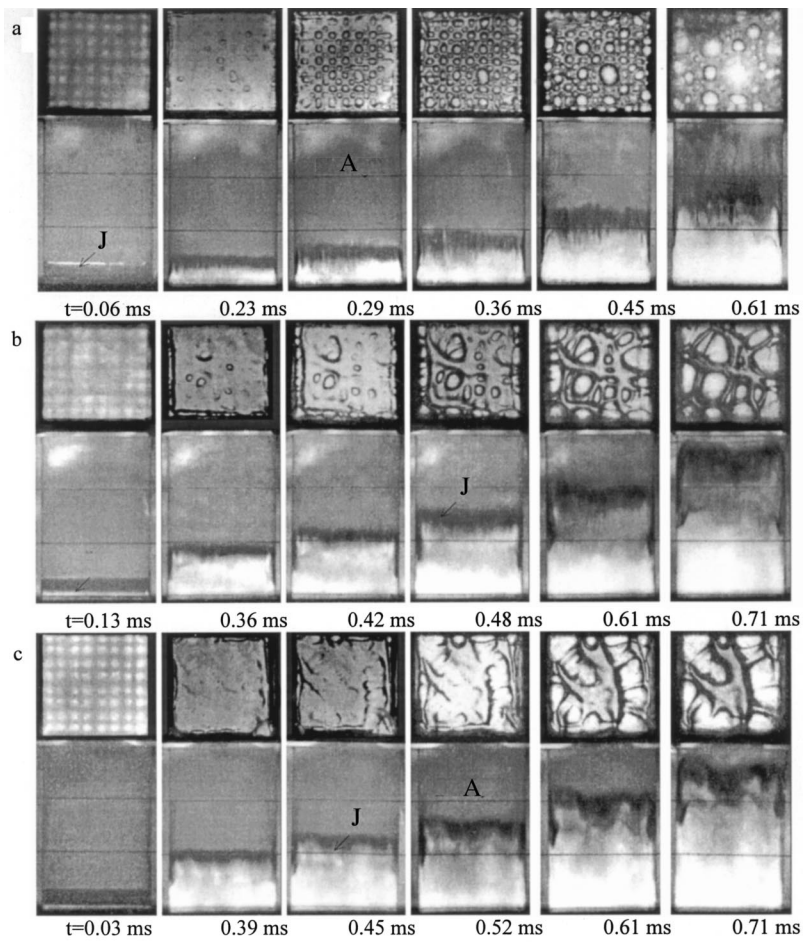
смеси (ГВС) — стехиометрической смеси ацетилена с кислородом. В начальном положении слой разделял канал на два отсека — камеру и ускорительный канал и удерживался за счет сил адгезии студня со стенками канала. Для уменьшения прогиба под собственным весом он дополнительно поддерживался тонкой ($5\ \mu\text{m}$) пленкой из лавсана. Величина стрелки прогиба слоя составляла $< 1\ \text{mm}$.

Конец камеры был заглушен, конец ускорительного канала был открыт. Замкнутый объем камеры заполнялся смесью ацетилена с кислородом ($\text{C}_2\text{H}_2 + 2.5\text{O}_2$). Детонация ГВС в камере инициировалась в 64 точках, равномерно расположенных по площади сечения канала. В этих опытах начальное возмущение на нижней, неустойчивой, границе слоя не задавалось. Источником начальных возмущений служило трехмерное возмущение волны детонации (от системы инициирования) и последующих нестационарных ударных волн, возникающих после отражения волны детонации от слоя студня.

Регистрация процесса ускорения слоя велась скоростной кинокамерой.

На рисунке приведены кинограммы экспериментов со слоями студня с концентрацией $C = 17.6\%$; $C = 26.4\%$; $C = 52.8\%$. Здесь приведены изображения разгоняемого слоя в двух проекциях, полученных одновременно: в нижней части кадра — в боковой проекции (направление съемки нормально к направлению движения слоя) и в верхней части кадра — во фронтальной проекции (направление съемки навстречу движению слоя). Это второе изображение было получено при помощи зеркала, укрепленного на конце ускорительного канала с наклоном в 45° к оси канала.

Здесь наибольший интерес представляют фотографии, полученные во фронтальной проекции. Характер изображения возмущения неустойчивой границы в случае слоя с $C = 17.6\%$ по существу не отличается от типичного изображения зоны в случае газ–жидкость [5]: газ проникает в жидкость в виде системы конкурирующих округлых пузырей (постоянно происходит рост наиболее крупных пузырей за счет подавления более мелких ”соседей”), а жидкость проваливается в газ в виде струй, утончающихся к концу. Это можно наблюдать на боковой проекции. В случае слоя с $C = 52.8\%$ характер изображения радикально меняется: газ проникает в слой в виде сильно вытянутых изогнутых ложбин (напоминающих по виду жирных гладких гусениц), т. е. хотя возмущение, строго говоря, остается трехмерным, но по своему



Результаты экспериментов по разгону тонких слоев из студня (J) продуктами взрыва ГВС. Представлены одновременно фотографии, полученные фронтальной съемкой через слой студня (верхняя часть снимка) и боковой проекции (нижняя часть снимка). a — слой студня с концентрацией раствора желатина $C = 17.6\%$; b — $C = 26.4\%$; c — $C = 52.8\%$. Время отсчитывается от момента подрыва ГВС.

характеру оно приближается к двумерному случаю. Струй практически не видно. Во всех случаях наблюдается "размазывание" пристеночной части слоя по стенке ускорительного канала.

Изменение формы возмущения в описанных случаях, на наш взгляд, является яркой иллюстрацией известного факта, что:

а) в случае сред без прочности темп роста трехмерных возмущений выше, чем в случае двумерных;

б) в случае сред с прочностью ситуация изменяется наоборот [2].

Источником начальных возмущений во всех случаях является трехмерное возмущение волны детонации, которое имеет как регулярную составляющую (от точек инициирования ГВС), так и случайную (разброс моментов инициирования). По-видимому, при низкой прочности слоя ведущей является регулярная составляющая, определяющая трехмерный сценарий развития возмущения в виде пузырей, чье расположение в общих чертах повторяет расположение точек инициирования; при высокой же прочности доминирует случайная составляющая, в спектре которой выделяются квазидвумерные структуры в виде "гусениц".

Интересен результат опыта с промежуточной величиной $C = 26.4\%$: он является как бы промежуточным звеном между двумя разными механизмами. Здесь присутствуют в зародыше оба типа пузырей: квазиокруглые пузыри и пузыри типа "гусеница". Однако со временем по мере роста возмущений начинает преобладать характер округлых пузырей. На основе приведенных фотографий можно сделать предположение, что в случае развития зоны ТП на границе сред с прочностью существует вначале стадия развития по механизму "гусениц" (приближение к двумерному случаю), которая со временем по мере увеличения характерного масштаба возмущения плавно переходит в механизм "квазиокруглых пузырей" (чисто трехмерный случай).

Работа выполнена при поддержке ЛАНЛ США, контракт (В70040006-35).

Авторы выражают благодарность В.А. Раевскому, П.Н. Низовцеву за полезное обсуждение результатов данной работы, М.В. Блинецову за обработку некоторых результатов экспериментов.

Список литературы

- [1] *Taylor G.I.* // J. Proc. Roy. Soc. 1950. V. A201. P. 192.
- [2] *Lebedev A.I., Nizovtsev P.N., Rayevsky V.A.* et al. // Proc. Of the 5th IWPCTM. Stony Brook, USA, 1995. P. 231–236.
- [3] *Волченко О.И., Жидов И.Г., Клопов Б.А.* и др. А.с. 1026154 // Бюллетень изобретений. 1983. № 24.
- [4] *Близнецов М.В., Мешков Е.Е., Невмержицкий Н.В.* и др. // ВАНТ. Сер. Теор. и прикл. физ. 1999. С. 54–57.
- [5] *Волченко О.И., Жидов И.Г., Мешков Е.Е.* и др. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 1. С. 47–50.