

03

Развитие турбулентного перемешивания тонкого жидкого слоя, ускоряемого сжатым газом в замкнутом объеме

© Е.Е. Мешков, Н.В. Невмержицкий

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

В окончательной редакции 7 декабря 2001 г.

При ускорении жидкого слоя сжатым газом на его неустойчивой границе развивается зона турбулентного перемешивания (ТП). После выхода зоны перемешивания на противоположную границу слоя начинается его разрушение и разлет. В результате слой жидкости превращается в слой смеси диспергированной жидкости и газа, толщина которого растет со временем и может в десятки раз превышать первоначальную толщину слоя жидкости.

В некоторых кумулятивных системах, предназначенных для достижения высоких плотностей энергии, используются относительно тонкие тяжелые слои, разделенные газовыми промежутками [1]. Такие слои движутся с ускорением, и одна из границ такого слоя всегда оказывается неустойчивой (неустойчивость Рэля–Тейлора [2]). Развитие этой неустойчивости приводит к развитию зоны турбулентного перемешивания (ТП). Прочность материала слоя является стабилизирующим фактором, но в то же время она не является непреодолимым препятствием для развития неустойчивости и ТП. Прочность приводит лишь к появлению критических значений амплитуды и длины волны начального возмущения, за пределами которых начальные возмущения беспрепятственно развиваются [3]. В результате в системах, подобных [1], с ростом плотности энергии на определенном этапе могут возникать условия для беспрепятственного развития неустойчивости и нарушения процесса кумуляции энергии.

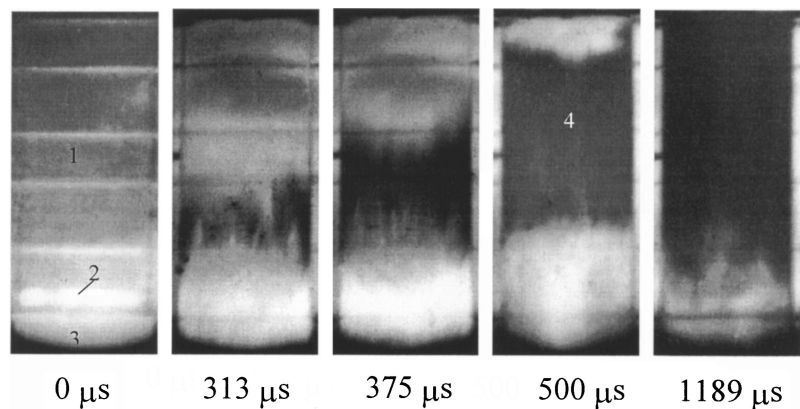


Рис. 1. Разрушение и разлет слоя воды толщиной 5 мм, разгоняемого давлением ПВ ГВС ($C_2H_2+2.5O_2$) в канале квадратного сечения. Время отсчитывается от начала движения слоя. Обозначения: 1 — воздух; 2 — слой воды; 3 — газовая взрывчатая смесь; 4 — диспергированный слой воды.

В некоторых других случаях относительно тонкий жидкий слой может выполнять защитные функции [4], и в этом случае ТП может играть положительную роль.

В описанных в литературе экспериментальных исследованиях развития ТП на неустойчивой границе жидкого слоя, ускоряемого сжатым газом, процесс регистрации течения ограничивается временем прохождения зоной ТП только части слоя. Ниже описаны результаты эксперимента, в котором регистрируется процесс разрушения слоя воды после того, как зона ТП достигает противоположной границы слоя.

Ниже приведены результаты эксперимента (рис. 1) по разгону слоя воды толщиной 5 мм продуктами взрыва (ПВ) газовой взрывчатой смеси (ГВС) — смеси ацетилена с кислородом в канале квадратного сечения (4×4 см) с прозрачными стенками.

В начальный момент времени слой воды удерживался в канале тонкой ($\sim 5 \mu m$) пленкой из лавсана. Детонация ГВС инициировалась синхронно электроискровым способом в 64 точках. Конец канала, в котором разгонялся слой воды, был заглушен, т.е. объем канала был замкнут.

Процесс разгона слоя регистрировался скоростной кинокамерой.

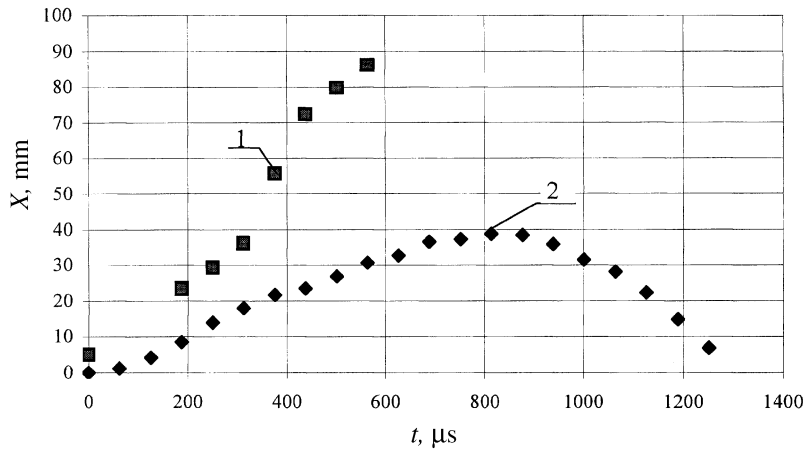


Рис. 2. $X-t$ -диаграмма разлета слоя воды, ускоряемого ПВ ГВС. Обозначения: 1 — верхний край разлетающегося слоя; 2 — нижний край разлетающегося слоя.

В процессе разгона на нижней, неустойчивой границе слоя развивается зона ТП [5]. В развитой зоне турбулентного перемешивания газ проникает в более тяжелую жидкость в виде пузырей. Процесс проникновения пузырей сопровождается их постоянным укрупнением. Тяжелая жидкость проникает в газ в виде струй, которые дробятся на краю зоны перемешивания в мелкие капли в виде „дождя“.

После выхода зоны ТП на внешнюю границу процесс фрагментации и разлета слоя продолжается. Масштабы и темп этого разлета демонстрируют кадры кинограммы разлета слоя (рис. 1) и $X-t$ -диаграмма (рис. 2).

До $t = 400-500 \mu\text{s}$ разлет продолжается с некоторым ускорением, а затем начинает тормозиться давлением воздуха, сжимаемого разлетающимся слоем. На время $t \approx 800 \mu\text{s}$ волна сжатия выходит на нижний край разлетающегося слоя и начинается его обратное движение. При этом процесс разлета слоя получает новый импульс. К моменту окончания процесса регистрации течения толщина слоя увеличивается в ~ 20 раз по сравнению с начальной и весь объем ускорительного канала оказывается заполненным диспергированной водой слоя.

Список литературы

- [1] *Дерентович Г.* // ПМТФ. 1989. № 1. С. 23–35.
- [2] *Taylor G.I.* // I. Proc. Roy. Soc. 1950. V. A201. P. 192.
- [3] *Lebedev A.I., Nizovtsev P.N., Rayevsky V.A. et al.* // Proc. of the 5th IWPCTM. Stony Brook, USA, 1995. P. 231.
- [4] *Иванов Г.А., Волошин И.П., Ганеев А.С.* и др. Взрывная дейтериевая энергетика. Снежинск, 1997.
- [5] *Жидов И.Г., Мешков Е.Е., Невмержицкий Н.В.* Экспериментальное исследование динамики перемешивания на неустойчивых границах ускоряемых жидких слоев. Препринт ФИАН им. Лебедева № 56. 1990. С. 52–63.