

03;12

Влияние турбулентного перемешивания на преобразование энергии движущегося жидкого слоя во внутреннюю энергию сжимаемого газа и характер этого сжатия

© М.В. Близнецов, И.Г. Жидов, Е.Е. Мешков, Н.В. Невмержицкий, Е.Д. Сеньковский, Е.А. Сотсков, В.А. Тилькунов

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

Поступило в Редакцию 10 сентября 2001 г.

Проведено экспериментальное исследование сжатия плоского нагретого слоя газа движущимся жидким слоем и влияния турбулентного перемешивания (ТП) на границе жидкий слой–газ на характер сжатия последнего.

Сжатие газа жидким слоем на стадии торможения слоя сопровождается развитием неустойчивости Рэлея–Тейлора и ТП. Фрагментация жидкости в зоне ТП приводит к резкому увеличению теплопередачи от горячего газа к веществу слоя и, как следствие, к отличиям динамики сжатия газа по сравнению со случаем жесткого поршня, и не только количественным, но и качественным.

Исследования проводились на основе сравнения динамики слоев воды, движение которых сопровождалось развитием ТП, и слоев с полностью подавленным за счет прочности материала слоя ТП.

Наблюдалось сжатие газа жидким слоем большее, чем в случае сжатия поршнем (до ~ 1.5 раз).

Турбулентное перемешивание (ТП) контактирующих материалов, возникающее при интенсивном ускорении границ разноплотных сред, оказывает существенное влияние на процессы кумуляции энергии в слоистых системах [1].

Работа является продолжением проведенных ранее модельных исследований влияния ТП на процессы преобразования энергии в слоистой системе, состоящей из жидких слоев, разделенных газовыми промежуточками [2,3], и отличается от [3] высокой начальной температурой сжимаемого газа.

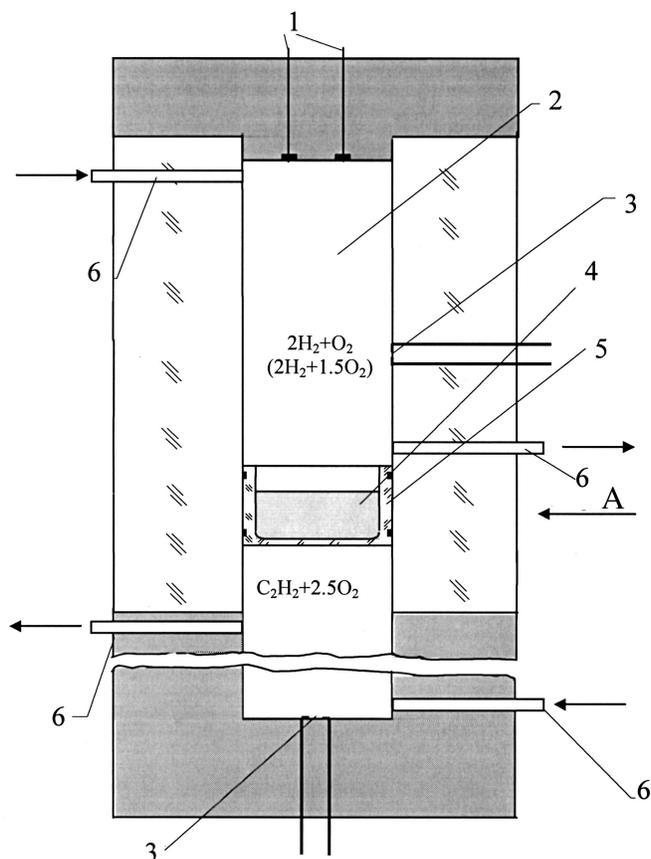


Рис. 1. Схема экспериментальной сборки по сжатию продуктов взрыва смеси водорода и кислорода слоем, ускоряемым продуктами взрыва ацетилена и кислорода. При проведении экспериментов газоводы перекрываются. Обозначения: 1 — датчики давления; 2 — ускорительный канал; 3 — искровой зазор; 4 — ускоряемый слой; 5 — контейнер; 6 — газовод; А — направление киносъемки.

Исследования проводились на устройстве, приведенном на рис. 1.

Жидкий слой в открытом контейнере располагался в цилиндрическом канале с прозрачными стенками диаметром 5 см. Вес контейнера

со слоем во всех опытах составлял 45 г. Контейнер разделял канал на два отсека, которые заполнялись газовыми взрывчатыми смесями (ГВС) различного состава. Нижний отсек заполнялся смесью ацетилена с кислородом $C_2H_2 + 2.5O_2$ (ГВС-1), а верхний — смесью водорода с кислородом $2H_2 + O_2$ (ГВС-2). Детонация смесей одновременно инициировалась электрическими искрами.

Смесь $C_2H_2 + 2.5O_2$ более высокоэнергетична по сравнению со смесью $2H_2 + O_2$ и соответственно давление продуктов взрыва (ПВ) первой смеси (ГВС-1) выше давления ПВ второй (ГВС-2), и поэтому контейнер вначале с ускорением движется вверх. На этой стадии граница между жидким слоем и ПВ ГВС-2 устойчива. Сжатие ПВ второй смеси приводит к повышению их давления, и на определенной стадии начинается торможение контейнера со слоем; при этом ускорение оказывается направленным от легких ПВ к более тяжелой жидкости. При этом на границе между этими средами развивается неустойчивость Рэлея–Тейлора [4] и ТП.

Для выявления масштаба влияния ТП на динамику сжатия газа проводились сравнительные эксперименты со слоями воды, в которых ТП развивалось, со слоями студня высокой прочности, в которых ТП было подавлено ("стабилизированный" слой).

Картина разгона контейнера и его торможение регистрировались скоростной кинокамерой ВКФ-13.

Результаты экспериментов иллюстрируются рис. 2. Здесь приведены результаты измерений смещения контейнера как функции времени $X(t)$ для различных типов слоев. Варьировался также (начальный) объем отсека канала, заполненного смесью ацетилена с кислородом.

Изменение начального объема газа 1 приводит к изменению динамики слоя и развития ТП и влияния тепловых процессов в зоне ТП на эффективность преобразования энергии. Это нагляднее проявляется при представлении результатов в безразмерном виде. На рис. 2 совокупность измерений смещения поршня от времени в опытах с различными объемами газа 1 (смеси $C_2H_2 + 2.5O_2$) представлена в виде зависимостей переменных $X^*(t^*)$, где $X^* = X/X_{\max}$, $t^* = t/T_0$. X_{\max} — максимальное смещение "стабилизированного" слоя и T_0 — момент времени, соответствующий ему в серии опытов с одинаковым объемом газа 1.

$X(t)$ "стабилизированного" слоя близки к наблюдаемым при сжатии воздуха (начально при комнатной температуре) [3]. Зависимость

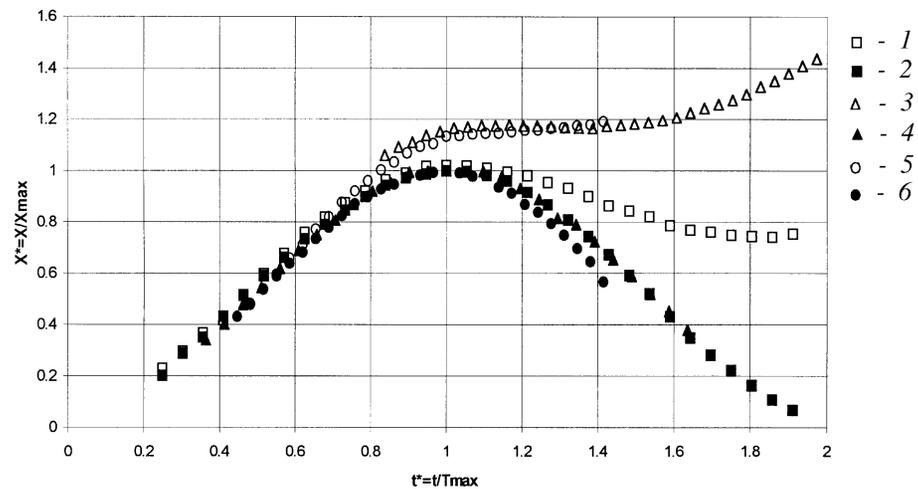


Рис. 2. Зависимости $X^*(t^*)$ для опытов с различными величинами объемов смеси $C_2H_2 + 2.5O_2$. Маркеры 1 и 2 относятся к опытам с объемом 44 cm^3 , 3 и 4 — 78.5 cm^3 , 5 и 6 — 117.8 cm^3 . Незакрашенные маркеры относятся к опытам со слоем воды, покрашенные — к стабилизированному слою (без ТП). Объем смеси $2H_2 + O_2$ — 165 cm^3 .

смещения "стабилизированного" слоя от времени имеет колоколообразный вид — контейнер со "стабилизированным" слоем после стадии торможения останавливается и начинает двигаться в обратную сторону.

Сжатие горячего газа жидким слоем сопровождается развитием ТП и теплопередачей от ПВ ГВС-2 частицам вещества слоя. Это приводит к качественным изменениям динамики сжатия. На интервале времени наблюдений контейнер движется с торможением, как и в случае "стабилизированного" слоя, но затем знак ускорения изменяется, и он снова начинает двигаться с ускорением в сторону сжимаемого газа. Глубина проникновения зоны ТП в воду продолжает еще некоторое время расти, затем рост прекращается. Отметим, что полная ширина зоны ТП и в случае слоя воды продолжает расти. При увеличении объема ускоряющего газа увеличиваются объем зоны ТП и влияние тепловых процессов.

Реализована постановка эксперимента по сжатию горячего газа жидким слоем, обладающая хорошей воспроизводимостью экспериментальных результатов.

Вариации постановки позволили менять интенсивность физических процессов, сопровождающих сжатие. Это достигается использованием различных веществ в качестве материала слоя (вода, студень различной прочности) и приводит к различию интенсивности ТП на неустойчивой границе, фрагментации вещества слоя и интенсивности тепловых процессов.

В результате при проведении экспериментов наблюдаются различия зависимости смещения контейнера со слоем от времени, не только количественные, но, что особенно важно, качественные.

Полученные результаты:

1) иллюстрируют необходимость более детального описания процессов, имеющих место в зоне ТП, чем только динамика размеров зоны ТП;

2) представляют интерес как наглядные экспериментальные наблюдения влияния ТП на физические процессы, сопровождающие попытки получения высоких плотностей энергии в слоистых кумулирующих системах;

3) создают основу для экспериментального теста численных методик, предназначенных для описания многофазных течений, сопровождающихся турбулентным перемешиванием и процессами теплопередачи. Представляется важным, что постановка экспериментов включает относительно небольшое число широко распространенных физических процессов и вещества с известными характеристиками.

Работа выполнена частично при поддержке ЛАНЛ США (контракт В70040006-35 ТЗ 034).

Список литературы

- [1] *Забабихин Е.И.* // ЖЭТФ. 1965. Т. 49. В. 2(8). С. 721–726.
- [2] *Жидов И.Г., Мешков Е.Е., Невмержицкий Н.В.* // ВАНТ. 1996. Сер. Теор. и прикл. физ. 1–2. С. 20–23.
- [3] *Жидов И.Г., Мешков Е.Е., Невмержицкий Н.В.* и др. // Сб. аннотаций докладов на VII Междунар. семинаре по физике турбулентного перемешивания сжимаемых сред. С.-Петербург, 1999. С. 36.
- [4] *Taylor G.I.* // I. Proc. Roy. Soc. 1950. V. A201. P. 192.