

получение пульсаций по всей ширине зоны ТП в одном опыте. Недостаток – трудность идентификации некоторых частиц на разных видеокдрах.

В ходе отработки метода получены новые результаты:

- зона турбулентного перемешивания, развивающаяся на контактной границе газ-жидкость, под действием скользящей воздушной ударной волны состоит из двух областей: собственно, из зоны перемешивания и капельного облака;
- относительные значения пульсаций скорости в зоне ТП при неустойчивости Кельвина-Гельмгольца из-за сильного вихревого течения значительно выше, чем при неустойчивостях Рэлея-Тейлора и Рихтмайера-Мешкова.

Требуется дальнейшая экспериментальная и расчетная отработка метода с целью получения большого количества точек для разложения пульсаций скоростей в ряд Фурье, определения спектра пульсаций скорости.

### Список литературы

1. H.L.F. Helmholtz. Uber discontinuirlich Flussigkeits-Bewegungen. Monatsberichte Konigl. Preus. Akad. Wiss. // Berlin. 1868. P.215.
2. G.I. Taylor. The instability of liquid surfaces when accelerated in a direction perpendicular to their planes. // I. Proc.Roy.Soc., 1950. V.A201. P.192.
3. R.D. Richtmyer. Taylor instability in shock acceleration of compressible fluids. // Commun.Pure Appl.Math., 1960. V.13. P.297.
4. Е.Е. Мешков. Неустойчивость границы раздела двух газов, ускоряемой ударной волной. // Изв.АН СССР, МЖГ, 1969, N 5. с.151-158.
5. Ю. В. Янилкин, В. П. Стаценко, В. И. Козлов. Математическое моделирование турбулентного перемешивания в сжимаемых средах. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2009. с. 507.
6. В.П. Коронкевич, В.С. Соболев, Ю.Н. Дубнищев. Лазерная интерферометрия. // Новосибирск: Наука. 1983. С. 214.
7. А.А. Тяктев, А.В. Павленко, Н.Б. Аринкин и др. Экспериментальное исследование характеристик зоны турбулентного перемешивания газовых сред, вызванной действием неустойчивости Рэлея-Тейлора, при числах Атвуда 0,2 и 0,8. // Труды Международной конференции «XVII Харитоновские тематические научные чтения». ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2015. с. 645-656.
8. C. Brucker. Structure and dynamics of the wake of bubbles and its relevance for bubble interaction. // Phys. Fluids. 11. 1781. 1999.

## ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ФАКТОР ПРИ РАЗВИТИИ СДВИГОВОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В СРЕДАХ С ПРОЧНОСТЬЮ

*О.Б. Дреннов*

РФЯЦ – ВНИИЭФ, Саров, Россия

В природе существует три типа неустойчивостей поверхности раздела:

- ❖ Рэлея-Тэйлора (когда на границу раздела веществ разной плотности действует ускорение, вектор которого направлен от вещества меньшей плотности [1]);
- ❖ Рихтмайера-Мешкова (когда границы раздела импульсно ускоряется ударной волной [2]);
- ❖ Кельвина-Гельмгольца (когда имеется разрыв тангенциальной составляющей поля скоростей [3]).

Необходимым и достаточным условием развития неустойчивости Рэлея-Тэйлора и Рихтмайера-Мешкова является наличие начального возмущения на границе раздела, которое растет и, развивается при ускорении последней.

Для развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца такое условие необязательно, так как система, состоящая из двух касающихся потоков, движущихся параллельно с различными скоростями, является абсолютно неустойчивой [4].

Такое утверждение абсолютно справедливо для жидкостей и газов. Однако, когда взаимодействуют вещества, обладающие прочностью (металлы), ситуация становится не столь однозначной.

Реализовать относительное скольжение двух металлических образцов с высокой скоростью достаточно сложно. Наиболее простой способ – косое соударение пластин. При определенном подборе скорости метания  $w$  и угла соударения пластин  $\gamma$  реализуется т.н. режим «сварки взрывом» [5]. Контактная граница образцов приобретает волнообразный вид, а сами образцы прочно соединяются. Образование волнообразных возмущений на границе раздела объясняется в гидродинамическом приближении развитием неустойчивости Кельвина-Гельмгольца. В точке контакта металлы рассматриваются как соударяющиеся струи, причем натекающая струя разделяется на прямую и обратную. Взаимодействие обратной струи (метаемой пластины) с неподвижной приводит к развитию неустойчивости, возникновению и росту возмущений [6, 7].

Однако подробный металлографический анализ соединенных образцов показал, что плавление происходит в ограниченных локальных зонах. Подавляющая область соединения происходит в твердой фазе [5, 8].

Следовательно, для развития неустойчивости необходимо наличие начального возмущения, рост которого и определяет волнообразную форму контактной границы.

Для выявления определяющего фактора для развития сдвиговой неустойчивости в средах, обладающих прочностью, была проведена серия экспериментальных исследований. Схема постановки опытов представлена на рисунке 1.

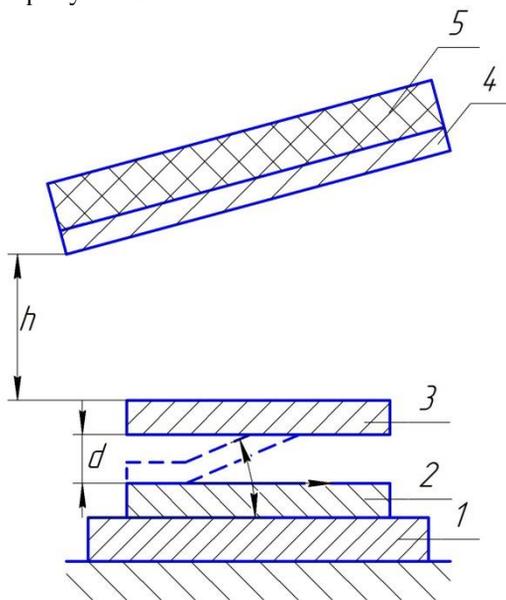


Рисунок 1. Схема постановки опытов

На массивное стальное основание (1) размещается неподвижная пластина (2) из меди М1 размером 100x60x5 мм. Над ней через зазор  $d$  фиксируется метаемая пластина (3) из алюминиевого сплава АМГ размером 100x60x5 мм. Над пакетом пластин устанавливается ударник (4) из алюминиевого сплава АМГ размером 150x120x4 мм. Минимальное расстояние, между ударником и метаемой пластиной  $h = 20$  мм, что обеспечивает стационарность параметров соударения [5]. На поверхности ударника размещается слой ВВ (5) из тротила, в котором возбуждается плоская скользящая детонационная волна.

В каждой серии опытов динамические параметры ударника оставались неизменными. Варьировалось расстояние между поверхностями неподвижной и метаемой пластин. Основные результаты экспериментов приведены в таблице, где:  $u_k$  – скорость точки контакта;  $d$  – база полета метаемой пластины;  $a$ ,  $\lambda$  – амплитуда и длина волны возмущений, реализующихся на контактной границе (средние значения после обсчета 20 соседних возмущений).

Таблица.

Номер опыта	$u_k$ , мм/мкс	$d$ , мм	$a$ , мкм	$\lambda$ , мкм	Номер рисунка (увеличение)
1	4	10	$240 \pm 20$	$750 \pm 250$	2 (x 100)
2	4	1	$80 \pm 10$	$350 \pm 50$	3 (x 100)
3	4	0,1	$30 \pm 5$	$150 \pm 20$	4 (x 100)
4	4	10	$250 \pm 20$	$800 \pm 250$	5 (x 100)
5	4	1	$70 \pm 10$	$350 \pm 50$	6 (x 100)
6	4	0,1	$25 \pm 5$	$140 \pm 20$	7 (x 100)

Фотографии микрошлифов контактных границ приведены на рисунках 2-7.

Рисунок 2. Микрошлиф контактной границы Al-Cu,  $d = 10$  ммРисунок 3. Микрошлиф контактной границы Al-Cu,  $d = 1$  ммРисунок 4. Микрошлиф контактной границы Al-Cu,  $d = 0,1$  мм



Рисунок 5. Микршлиф контактной границы Al-Cu,  $d = 10$  мм

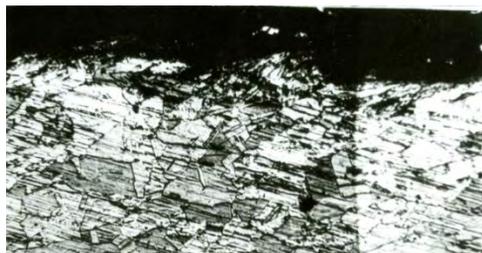


Рисунок 6. Микршлиф контактной границы Al-Cu,  $d = 1$  мм

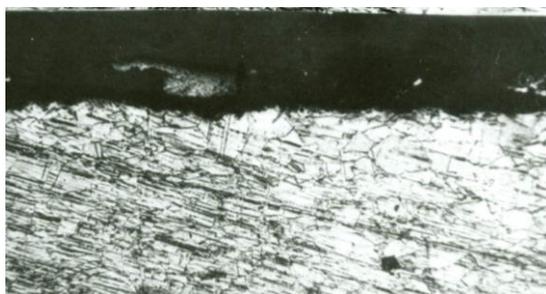


Рисунок 7. Микршлиф контактной границы Al-Cu,  $d = 0,1$  мм

В опытах №№1-3 поверхности контакта нагружаемых пластин обрабатывались по классу точности 20 (шероховатость поверхности не более 20 мкм), в опытах №№4-6 – по классу точности R<sub>z</sub> 0,05 (поверхности полировались до зеркальности).

Из результатов опытов следует: в пределах погрешности эксперимента не зафиксировано различие в параметрах и геометрическом виде реализующихся возмущений. Следовательно, начальной возмущение ( $a \approx 20$  мкм) не является определяющим фактором для развития неустойчивости.

После соударения пластин в точке контакта реализуются интенсивные пластические деформации.

Тепло, выделяемое в процессе деформирования, приводит к термическому разупрочнению, росту скорости пластических деформаций и автокаталитической кинетике увеличения температуры. Узкие (десятки микрон) приграничные слои металлов полностью теряют прочность, переходят в некое «квазизидкое» состояние.

Известно, что тангенциальный разрыв (относительное движение двух контактирующих струй с разными скоростями) абсолютно неустойчив [4]. Именно относительное «течение» двух «квазизидких» слоев является определяющим фактором для развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в средах, обладающих прочностью.

#### Список литературы

1. Taylor G. "The instability of liquid surfaces when accelerated in a direction perpendicular to their planes" Proceeding of Royal Society. Series A, 1950 v.201, № 1065, pp.192-196.
2. Е.Е. Мешков «Неустойчивость границы раздела двух газов, ускоряемой ударной волной» Механика жидкости и газа, 1969, №5, стр.151-158.

3. Г. Гельмгольц Два исследования по гидродинамике. I О вихревом движении. II О прерывном движении жидкости//Berlin Akad. 1868, 215-228с. (русский перевод под редакцией Е.А. Чаплыгина).
4. Г. Биркгоф //Гидродинамика. Методы, факты, подобие// Москва, Издательство иностранной литературы, 1963, 244с.
5. А.А. Дерibas Физика упрочнения и сварки взрывом// Новосибирск, Наука, СО, 1980, 221.с
6. J.Hunt Wave Formation in Explosive Welding// The Philosophical Magazine, Series 8, 1968, v.17, № 148, 669-680pp.
7. J. Robinson The mechanics of wave formation in impact welding// The Philosophical Magazine, 1975, v.31, № 3, 587-597pp.
8. Ю.А.Конон, Л.Б.Первухин, А.Д.Чудновский Сварка взрывом// Москва, Машиностроение, 1987.

### МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УСКОРЕННОГО СДВИГОВОГО ТЕЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ РЭЛЕЯ-ТЕЙЛОРА

*Е.Е. Мешков, Р.В. Мокрецов, И.Р. Смагин*

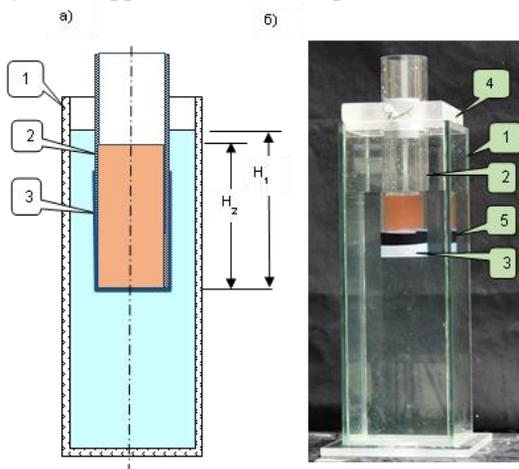
СарФТИ НИЯУ МИФИ, Саров, Россия

Локальное превращение турбулентного потока в трубе в ламинарный под действием его ускорения впервые было описано Тейлором в 1929 году [1]. В 1973 году Нарисима и Сринивассан опубликовали обзор исследований явления ламинаризации турбулентного пограничного слоя под действием ускорения течения [2]. Вопрос о возможном влиянии эффекта реламинаризации на характер развития неустойчивости Рэлея –Тейлора (РТ) [3,4] обсуждался в статьях Абаржи и Сринивассана [5,6]. Наряду с этим существует ряд экспериментальных исследований, указывающих на возможность подавления РТ неустойчивости ускоренным сдвиговым течением:

- на куполе крупного воздушного пузыря, всплывающего в воде [7-9] (число Атвуда  $A \approx 1$ );
- на куполе водяного пузыря, всплывающего в растворе соли [10] ( $A \ll 1$ ).

Ниже описан метод исследования подавления РТ неустойчивости ускоренным сдвиговым течением на торце жидкого цилиндрического снаряда, тонущего в менее плотной жидкости.

На рис. 1 приведены: а) схема и б) общий вид экспериментального устройства, состоящего из вертикального стеклянного канала (1) (с поперечным сечением  $11 \times 11 \text{ см}^2$ ), заполненного водой и помещённой в канал стеклянной цилиндрической трубки (2) диаметром 51 мм, на нижнем торце которой натянута диафрагма из тонкой резины (3).



- 1 – стеклянный канал, заполненный водой;
- 2 – стеклянная цилиндрическая трубка, заполненная раствором соли;
- 3 – натянута диафрагма из тонкой резины;
- 4 – крепление трубки в канале;
- 5 – изолента, крепящая диафрагму к трубке

**Рисунок 1.** а) Схема и б) общий вид постановки эксперимента с жидким снарядом