

- [1] *Kurt Wiesenfeld, Bruce McNamara*. Phys. Rev. A, 1986, v. 33, N 1, p. 629—643.  
 [2] *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Электродинамика сплошных сред. 2-е изд. испр. и доп. М.: Наука, 1982. 624 с.  
 [3] *Рюттов Д. Д.* Письма в ЖЭТФ, 1975, т. 22, № 9, с. 446—449.  
 [4] *Anthony Eller, H. G. Flynn*. JASA, 1969, v. 46, N 3 (pt 2), p. 722—727.  
 [5] *Prosperetti A.* JASA, 1975, v. 57, N 1, p. 810—821.  
 [6] *Найфа А.* Введение в методы возмущений. М.: Мир, 1984. 535 с.  
 [7] *Максимов А. О.* Препринт ТОИ ДВНЦ. Владивосток, 1985. 19 с.  
 [8] *Максимов А. О.* ЖТФ, 1986, т. 56, № 1, с. 185—189.  
 [9] *Заболоцкая Е. А., Соляян С. И.* Акуст. журн., 1967, т. 13, № 2, с. 296—298.  
 [10] *Руденко О. В., Соляян С. И.* Теоретические основы нелинейной акустики. М.: Наука, 1975. 288 с.  
 [11] *Кобелев Ю. А., Островский Л. А., Сутин А. М.* Письма в ЖЭТФ, 1979, т. 30, № 7, с. 423—425.

Дальневосточный научный центр  
Тихоокеанский океанологический  
институт АН СССР  
Владивосток

Поступило в Редакцию  
23 июня 1986 г.  
В окончательной редакции  
26 февраля 1987 г.

УДК 669.25.295.018 : 539.89

Журнал технической физики, т. 58, в. 4, 1988

## ДВИЖЕНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СТРУИ В ПЛОТНОЙ СРЕДЕ

В. И. Ковтун, В. Ф. Мазанко

Движение струй и подобных им тел в различных средах рассматривалось в многочисленных работах [1-9].

Основные схемы течений (линий тока), полученные в этих работах для струй и сред на основании теоретических представлений, показаны на рис. 1, а—г. Видно, что, несмотря на ограниченное число схем течений, в данном вопросе существует неопределенность, которая вызвала необходимость экспериментального изучения течения среды вблизи контактной поверхности среды со струей.

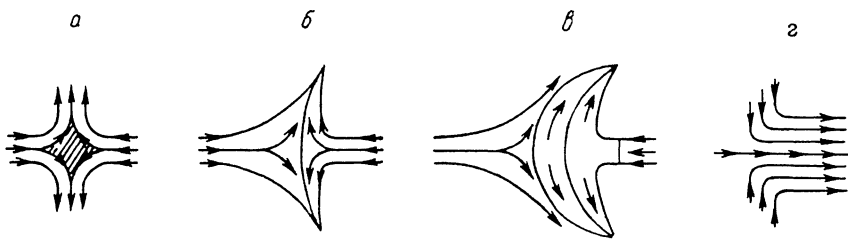


Рис. 1. Схемы течений в струе и среде.

а — течение с образованием застойной зоны [8]. б — дозвуковое течение [9, 7], в — сверхзвуковое течение [8], г — истечение струи в неподвижную жидкость [1].

В качестве объектов исследования выбраны среда с плотностью  $7.86 \text{ г/см}^3$  (железо) и движущаяся в ней с переменной скоростью медная струя. Это вызвано тем, что струя имела градиент скорости по длине (головная часть имела скорость, большую, чем хвостовая). В среде головная часть струи двигалась с околосвуковой скоростью, а средняя и хвостовая — с дозвуковой. Соотношение размеров струи и среды такое, что среду можно считать полубесконечной по отношению к струе.

Исследовались сборки, в каждой из которых размещено по пять реперных прокладок из железа, содержащих изотоп углерода, и олова, содержащих изотоп олова (рис. 2). После того как движение струи прекращалось, экспериментальные сборки разрезали по оси образовавшейся каверны, шлифовали и полировали. Следует сразу отметить, что обработке подвергалась только полученная после разрезки плоскость, что исключало возможность

загрязнения поверхности каверны частицами материала, содержащего изотопы, так как эта поверхность не контактировала с обрабатывающим инструментом.

От сборок, содержащих реперные прокладки, методом автордиографии (рис. 2) получали фотоотпечатки.

Принято считать, что поверхность кавермы в железе по всей длине покрыта тончайшим слоем меди, так называемой «пеленой». Только на начальных участках кавермы в «пе-

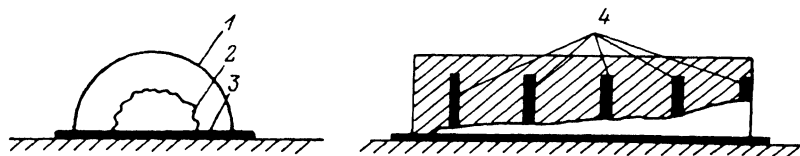


Рис. 2. Схема получения автордиограмм.

1 — образец, 2 — поверхность кавермы, 3 — фотопленка, 4 — реперные пластинки.

лене» содержатся мелкие частицы железа. Такие внешние признаки свидетельствуют, что течение среды и струи можно классифицировать как описанное в [4, 7, 6] и показанное на рис. 1, б, в.

Иная картина наблюдается при анализе автордиограмм (рис. 3, а, б). Видно, что как в околосвуковом, так и в дозвуковом режиме движения часть материала реперных прокладок, расположенных по ходу струи и содержащих изотоп, перемещается в направлении движения и также участвует в образовании «пелены». Других источников изотопов в среде не

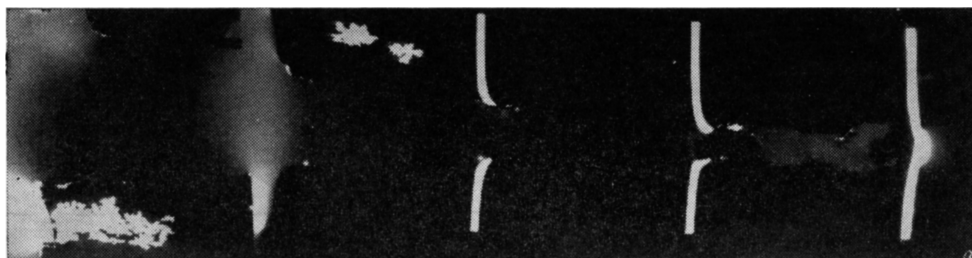


Рис. 3. Автордиограммы кавермы с реперными прокладками, содержащими изотоп  $^{14}\text{C}$  (а) и изотоп  $^{119}\text{Sn}$  (б).

имелось. Отсутствие на автордиограммах засветки от первых незакрепленных реперных прокладок объясняется их выбросом из гнезд при проникании струи, однако и на этом этапе часть прокладок, контактировавших со струей, участвует в образовании «пелены». Таким образом, картина течения несколько похожа на представленную на рис. 1, а, где показано, что струя жидкости, истекающая в покоящуюся жидкость, увлекает ее за собой.

Следовательно, можно считать установленным, что при движении струи в среде впереди контактной поверхности движется некий «присоединенный» объем среды. Этот объем, естественно, должен был бы подчиниться тому же закону течения, что и струя. В частности, «присоединенный» объем должен, как и струя, израсходоваться в соответствии с формулой [7]

$$l_2/l_1 = 1/\lambda = 1/\sqrt{\rho_1/\rho_0},$$

где  $l_2$  — длина израсходованной части струи;  $l_1$  — путь, пройденный в среде;  $\rho_1$  — плотность струи;  $\rho_0$  — плотность среды.

При равных плотностях среды и «присоединенного» к струе объема среды (часть реперной прокладки из железа) это соотношение равно 1, т. е. «присоединенный» объем должен остаться в виде «пелены» на стенках каверны на пути, равном толщине реперной пластины. Однако из автораддиограмм следует, что он не расходится полностью даже на пути, в 20 раз превышающем толщину прокладки. Такой же результат получен и для реперной пластины из олова. В то же время общий путь, пройденный струей в среде (глубина каверны), соответствует рассчитанному по вышеприведенной формуле.

Малый расход «присоединенного» объема можно объяснить, используя теорию пограничного слоя [9]. Согласно этой теории, при обтекании тела средой (газ, жидкость) частицы среды, соприкасающиеся с поверхностью тела, полностью затормаживаются. Вследствие действия сил трения возникает торможение и прилегающего к поверхности тела тонкого слоя среды. В этом слое скорость течения возрастает от нуля на поверхности до своего полного значения во внешнем потоке, в котором среду можно рассматривать текущей без трения. Такой слой получил название пограничного. Рассматривая обращенную задачу, соответствующую поставленному эксперименту, можно полагать, что при движении струи в неподвижной среде на поверхности струи, контактирующей со средой, частицы среды должны получать скорость, равную скорости контактной поверхности, и двигаться в направлении движения этой поверхности.

В пограничном слое осуществляется обмен количеством движения между соседними слоями движущейся среды вследствие переноса атомов или молекул из одного слоя в другой [10]. За счет обмена количеством движения происходит ускорение атомов или молекул, находящихся вблизи верхней границы пограничного слоя, и замедление атомов или молекул, близких к движущейся контактной поверхности. Интенсивность обмена количеством движения и определяет расход и обновление пограничного слоя. Так как пограничный слой в данном эксперименте находится в условиях очень высоких давлений, близких к гидростатическим, то обмен атомами или молекулами внутри него по диффузионному механизму затруднен [11]. Вследствие этого и наблюдается несоответствие между течением части среды по формуле [7] и в проведенном эксперименте.

#### Литература

- [1] *Schlichting H.* Zeitschrift fur angewante Mathematic und Mechanic, Berlin, 1933, v. 13, p. 260—263.
- [2] *Алексеевский В. П.* ПММ, 1958, т. 22, № 6, с. 87—92.
- [3] *Златин Н. А.* ЖТФ, 1961, т. 31, № 5, с. 982—990.
- [4] *Беляев Л. В., Витман Ф. Ф., Златин Н. А.* ЖТФ, 1964, т. 34, № 3, с. 519—522.
- [5] *Алексеевский В. П.* ФГВ, 1966, № 2, с. 99—106.
- [6] *Сагомонян А. Я.* Проникание. М., 1974, с. 158.
- [7] *Лаурентьев М. А., Шабат Б. В.* Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука, 1977, с. 258, 262.
- [8] *Гуревич М. И.* Теория струй идеальной жидкости. М.: Наука, 1979. 300 с.
- [9] *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 178 с.
- [10] *Мгитарян А. М.* Аэродинамика. М.: Машиностроение, 1970. 26 с.
- [11] *Шиняев А. Я.* Фазовые превращения и свойства сплавов при высоком давлении. М.: Наука, 1973, с. 68—87.

Институт проблем  
материаловедения АН УССР  
Киев

Поступило в Редакцию  
20 октября 1986 г.  
В окончательной редакции  
31 марта 1987 г.

Журнал технической физики, т. 58, в. 4, 1988

## ДИФфуЗИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ СИЛЬНО ЗАКРУЧЕННОГО СЖИМАЕМОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА

*В. Т. Воллов, Х. Д. Ламажапов*

Исследования тлеющего разряда в вихревой камере [1] показывают возможность достижения больших удельных энерговыделов (до  $10^2$  Вт/см<sup>3</sup> при рабочем давлении 1 атм). Радиальное распределение электронной плотности в [1] вычислялось в предположении изо-