

УДК 532.526

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОСПРИИМЧИВОСТИ
КРУГЛОЙ МИКРОСТРУИ К АКУСТИЧЕСКОМУ ПОЛЮ**

© 2011 г.

Ю.А. Литвиненко, М.В. Литвиненко

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск

litur@itam.nsc.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Представлены результаты экспериментальных исследований дозвуковой круглой микроструи с различными профилями скорости на выходе из микроканала. Выполнены термоанемометрические измерения и дымовая визуализация с использованием лазерного ножа, синхронизованного с акустическим полем. Показаны особенности развития таких струй при воздействии акустического поля с частотой 40–3000 Гц.

Ключевые слова: дозвуковая круглая микроструя, акустическое поле, дымовая визуализация, термоанемометрические измерения.

Значительные успехи в развитии МЭМС-технологии вызвали рост исследований, направленных на изучение свободных микроструй. Появилась возможность потенциального использования микроструй в различных процессах, например таких, как охлаждение, струйное горение, производство нанопорошков и т.д. Особое внимание уделяется исследованиям по воздействию акустического поля на микрострую, это важно как для понимания физики процесса, так и для возможного практического использования явления, например в авиационной, космической, химической промышленности и т.д. Цель данных исследований состоит в экспериментальном изучении механизма развития круглой микроструи под воздействием акустического поля и сравнении полученных результатов с результатами последних работ по данной тематике, полученными другими исследователями. Обсуждаются результаты экспериментальных исследований механизма развития струйных течений при малых числах Рейнольдса в поперечном акустическом поле ($Re_d = 20 - 60$, $d = 200 - 600$ мкм). Проведены термоанемометрические измерения и дымовая визуализация струй, которая выполнена с лазерной подсветкой, синхронизованной с источником акустических колебаний. Такой принцип визуализации позволил получить новые данные о механизме развития микроструи.

Полученные в результате предыдущих исследований знания, а также понимание механизма развития дозвуковой круглой макроструи при изменении начальных условий на срезе сопла в присутствии поперечного акустического поля позволили приступить к изучению осо-

бенностей развития круглой микроструи при наличии поперечного акустического поля. Круглая микроструя с «ударным» и параболическим профилем скорости на срезе сопла в отсутствие акустики имела ламинарную область развития струи значительной протяженности. Следует отметить, что, в отличие от круглой макроструи с «ударным» профилем скорости на срезе сопла, неустойчивости Кельвина–Гельмгольца в обоих случаях не обнаружено. На рис. 1 показан результат визуализации дымом круглой микроструи, истекающей из сопла диаметром 1600 мкм со скоростью 1.0 м/с без акустики (слева) и в присутствии акустического 90 дБ).

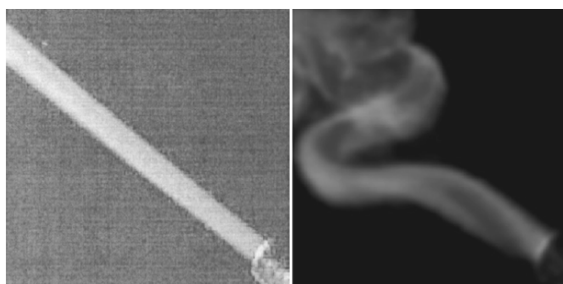


Рис. 1

Видно, что при воздействии поперечного акустического поля (интенсивностью 90 дБ) круглая

струя деформируется и трансформируется в плоскую струю. Подобное явление уплощения наблюдается в экспериментах при уменьшении диаметра струи вплоть до 160 мкм при малых числах Рейнольдса. В данном случае можно предположить, что в качестве поперечного потока выступает акустическое поле. Следует заметить, что уплощение круглой струи, т.е. трансформация ее в плоскую струю, под воздействием поперечного акустического поля отмечали и авторы работ [1–3] для водяной струи, хотя механизм уплощения в ней имеет другую физическую природу. Преобразование круглой микроструи в плоскую струю под воздействием поперечного акустического поля приводит к ее развитию вниз по потоку подобно плоской макроструе. Обнаружено синусоидальное колебание микроструи как единого целого на начальной стадии ее разрушения. В случаях параболического и «ударного» профилей скорости на срезе сопла обнаружено характерное явление, представляющее собой процесс разделения единой струи на две струи под воздействием поперечного акустического поля, причем эти две новые струи распространяются вниз по потоку под определенным углом друг к другу. Следует отметить, что этот эффект реализуется независимо от диаметра выходного отверстия сопла (рис. 2) и в широком диапазоне частот акустического воздействия.

колебания ламинарного участка струи приводит к резкому росту амплитуды ее колебаний вниз по потоку в плоскости, параллельной направлению вектора акустического поля, и в конечном итоге – к разрыву единой струи на две развивающиеся независимо друг от друга структуры.

На рис. 2 представлена визуализация дымом процесса развития микроструи в поперечном акустическом поле частотой $f = 200$ Гц при различном диаметре выходного отверстия сопла ($d = 200, 400$ и 500 мкм). На каждой из двух новых структур (струй) идет процесс развития вторичных высокочастотных возмущений, наведенных акустическим полем. Можно высказать предположение, что новые явления, обнаруженные в процессе исследований развития круглой микроструи (уплощение, синусоидальное колебание и раздвоение), обусловлены соизмеримостью энергии поперечного акустического поля, воздействующего на струю, с энергией самой микроструи. Таким образом, если воздействие акустики на макрострую приводит лишь к изменению периодичности вихреобразования и ускорению ее турбулизации, то воздействие поперечного акустического поля на микрострую вызывает изменение ее структуры (из круглой она становится почти плоской) и приводит к раздвоению микроструи и независимому друг от друга развитию двух разбегающихся в разные стороны под определенным углом струй с

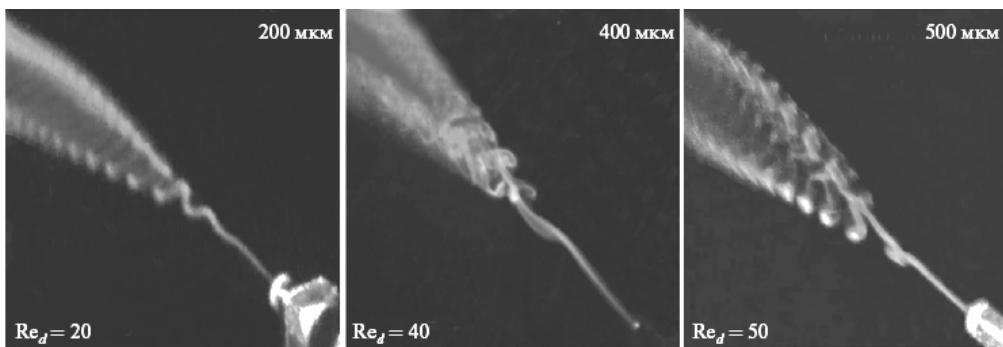


Рис. 2

Данное явление не наблюдалось при развитии круглой и плоской макроструи, более того, механизм этого процесса был не совсем понятен. Предпринята попытка разобраться в данном явлении и предложить гипотезу его возникновения.

На рис. 1 видно, что на выходе из сопла струя из круглой трансформируется в плоскую, которая начинает синусоидально колебаться в направлении вектора акустического поля, причем можно заметить винтообразный разворот струи. Под воздействием акустики синусоидальный колебательный процесс практически после одного периода

кольцеобразными вихревыми структурами вторичной высокочастотной неустойчивости каждой из них. При этом частота следования кольцеобразных вихревых структур зависит от частоты поперечного акустического поля.

Работа выполнена при поддержке грантом МК-1047.2011.1.

Список литературы

1. Carpenter J.B. et al. // Phys. Fluids. 2009. V. 21. 023601. P. 1–15.
2. Abramov O.V., Borisov Y.Y., Oganyan R.A. // Sov.

Phys. Acoust. 1987. V. 33. P. 339–345.

3. Hoover D.V., Ryan H.M., Pal S. et al. // ASME, Heat and Mass Transfer in Spray Systems HTD. 1991. V. 187. P. 27–41.

4. Козлов В.В., Грек Г.Р., Козлов Г.В., Литвиненко Ю.А. // Успехи механики сплошных сред: Сб. науч. тр. Всеросс. конф. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 331–351.

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE ROUND MICROJET RECEPTIVITY TO AN ACOUSTIC FIELD

Yu. A. Litvinenko, M. V. Litvinenko

Results of experimental studies of subsonic round microjet with different velocity profiles at nozzle exit are presented. Hot-wire measurements and smoke visualizations using a laser knife synchronized with an acoustic field were performed. Features of the development of such jets at influence of the acoustic field with frequency 40–3000 Hz are shown.

Keywords: subsonic round microjet, acoustic field, smoke visualization, hot-wire measurements.