

УДК 532.5

ДОЗВУКОВАЯ ПЛОСКАЯ МАКРО- И МИКРОСТРУЯ В ПОПЕРЕЧНОМ АКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

© 2011 г.

В.В. Козлов

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

kozlov@itam.nsc.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Представлены результаты экспериментальных исследований особенностей структуры и качественных характеристик развития дозвуковой макро- и микроструи в поперечном акустическом поле. Методика исследований состояла из термоанемометрических измерений и дымовой визуализации течения с синхронизацией его подсветки узким лазерным ножом с частотой акустического воздействия на струю. Показано, что в обоих случаях плоская струя подвержена неустойчивости синусоидального типа. Установлено, что воздействие поперечного акустического поля на плоскую микрострую приводит к сворачиванию плоскости струи на ее краях то в одну, то в противоположную сторону, раздвоению струи и остановке (ступору) ее развития вниз по потоку, препятствуя тем самым ее дальнейшему развитию.

Ключевые слова: дозвуковая плоская макроструя, дозвуковая плоская микроструя, термоанемометрические измерения, дымовая визуализация течения, лазерный нож, поперечное акустическое поле, синхронизация, синусоидальная неустойчивость.

Плоская макроструя

Известно, что неустойчивость ламинарной плоской струи связана с возникновением и развитием двух мод неустойчивости: симметричной и асимметричной. В случае «ударного» (значительный градиент скорости в области сдвига и безградиентное ядро струи) профиля скорости на срезе сопла по мере развития струи вниз по потоку происходит конкуренция этих двух мод неустойчивости. На начальном этапе развития струи доминирует симметричная мода неустойчивости, но по мере сужения ядра струи и постепенного приближения профиля скорости к параболической форме асимметричная мода становится преобладающей. В итоге, симметричная мода уже не является значимой в механизме разрушения течения и в большинстве ситуаций вообще затухает. В настоящем эксперименте [1] параболический профиль скорости был сформирован непосредственно на выходе струи из канала. Дымовая визуализация течения в плоской ламинарной струе с параболическим профилем скорости показала, что в отсутствие акустического воздействия на струю она подвержена изгибному колебанию синусоидального типа. В случае, когда плоская струя развивается из параболического профиля средней скорости на срезе сопла, можно наблюдать именно синусоидальное колебание струи в целом,

вызванное ее неустойчивостью. При акустическом воздействии на струю с одинаковой интенсивностью звука, но на различных частотах от 30 до 150 Гц можно было наблюдать некоторые особенности такого воздействия. Акустическое воздействие на низких частотах (30–70 Гц) способствовало четкому выделению асимметричных вихревых структур; угол распыления струи вниз по потоку составлял 18° (без акустики) и 30° (с акустикой), т.е. акустика способствовала росту трансверсальной протяженности струи и ускорению ее турбулизации. С ростом частоты возбуждения струи от 80 до 150 Гц можно было наблюдать нарушение синусоидальной периодичности вихревых структур, связанное с этим подавление колебания струи в целом и, наконец, расслоение единой струи на две части.

Плоская микроструя

Результаты первых качественных экспериментальных исследований плоской микроструи [2], формируемой на выходе из короткого классического сопла с поперечным размером его выходного отверстия порядка 700 мкм, показали, что процесс колебания струи в целом с образованием синусоидальной вихревой дорожки качественно остается таким же, как и в предыдущих экспериментах, где плоская струя истекала из сопла с размером выходной щели более 1 мм.

Акустическое воздействие на струю, как и ранее, приводило к изменению периодичности синусоидальной вихревой дорожки. С ростом частоты акустического воздействия на струю от 30 до 180 Гц наблюдалось уменьшение периода следования вихревых структур и их масштабов. В целом, данные исследования показали, что механизмы развития обычной плоской струи и микроструи качественно идентичны. В продолжение начатых исследований была воспроизведена часть эксперимента [3]: истечение плоской микроструи из сопла с шириной щели $h = 200$ мкм (при ее длине $l = 2360$ мкм) ≈ 12 , $Re = 100$. В отсутствие акустического воздействия результат визуализации дымом псевдоплоской микроструи демонстрирует примерно один и тот же сценарий развития в обоих случаях, т.е. можно наблюдать начальную область ламинарного течения струи без каких-либо синусоидальных колебаний и далее вниз по потоку ее турбулентное разрушение. Однако значительные изменения в характере развития псевдоплоской микроструи можно наблюдать при воздействии на нее акустики. На рис. 1 представлена визуализация дымом течения псевдоплоской микроструи при акустическом воздействии ($f = 50, 60, 80$ и 200 Гц). Видно, что, независимо от направленности вектора акустического поля, микроструя расщепляется на две развивающиеся независимо друг от друга под определенным углом струи и только в плоскости xz , т.е. в плоскости ее синусоидального колебания.

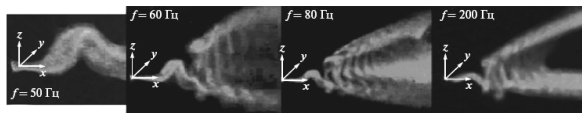


Рис. 1

Таким образом, установлено, что акустическое воздействие на псевдоплоскую микрострую приводит к ее раздвоению и появлению синусоидального колебательного процесса всей плоскости струи.

Рассмотрим результаты экспериментальных исследований развития действительно плоской микроструи $l/h = 70, 180$ при $l = 36000$ мкм и $h = 500, 200$ мкм соответственно как без акустики, так и с акустическим воздействием. В отсутствие акустики плоская микроструя была подвержена синусоидальному колебанию, что совпадает с результатами наших наблюдений за развитием плоской макроструи [1, 2]. В случае воздействия на микрострую поперечного акустического поля на

низких частотах (30–150 Гц) наряду с появлением синусоидальной вихревой дорожки можно было наблюдать и процесс закрутки плоскости струи на ее краях в направлении переменного вектора скорости потока, создаваемого акустическим полем. На рис. 2 показана схема развития плоской микроструи ($h = 200$ мкм) под воздействием поперечного акустического поля ($f = 150$ Гц, 90 дБ) и картины визуализации дымом струи в плоскости xz для различных позиций в направлении оси y . На рисунке хорошо видно, что под действием акустических колебаний интенсивностью 90 дБ четко прослеживается явление «концевого эффекта» в тоже время на картинах дымовой визуализации течения струи (рис. 2) отчетливо видно, что если в центре струи (сечение 1) сохраняется синусоидальная вихревая дорожка колебания струи в целом, то в областях проявления концевых эффектов можно наблюдать раздвоение плоской струи (сечения 2 и 3).

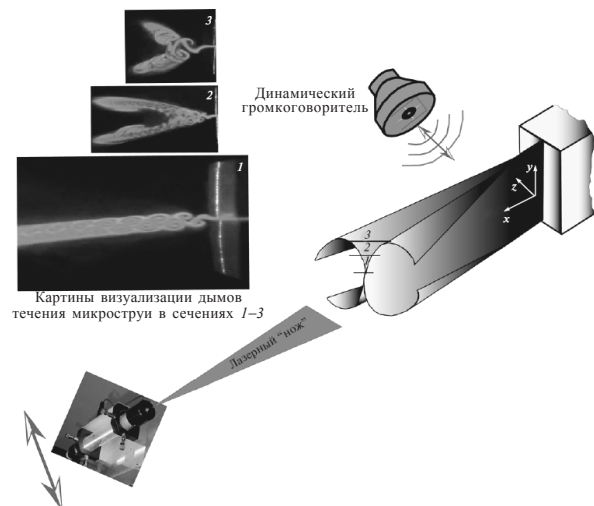


Рис. 2

Работа поддержана РФФИ (проект 08-01-00027), грантом ведущих научных школ (НШ-454.2008.1), грантом Министерства образования и науки РФ (РНП. 2.1.2.541), гос. контракт №14.740.11.0354.

Список литературы

1. Козлов Г.В., Грек Г.Р., Сорокин А.М., Литвиненко Ю.А. // Вестн. НГУ. Сер. Физика. 2008. Т. 3. Вып. 3. С. 25–37.
2. Козлов В.В., Грек Г.Р., Козлов Г.В., Литвиненко Ю.А. // Успехи механики сплошных сред: Сб. науч. тр. Всерос. конф. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 331–351.
3. Gau Chie, Shen C.H., Wang Z.B. // Phys. Fluids. 2009.V. 21. № 092001. P. 1–13.

SUBSONIC PLANE MACRO- AND MICROJET IN A TRANSVERSE ACOUSTIC FIELD*V.V. Kozlov*

Results of the experimental studies of the features of the structure and qualitative characteristics of subsonic plane macro- and microjet development in a transverse acoustic field are presented. The research technique involves the hot-wire anemometric measurements and flow smoke visualization with synchronization of the narrow laser sheet lighting by acoustical action frequency on the jet. It is shown, that in both cases the jet is subjected to sinusoidal instability. Twisting of the plane microjet at its edges in the direction of the variable flow velocity vector generated by the transverse acoustic field is found. It is shown that the twisting process terminates downstream development of the microjet and prevents its further downstream evolution and, finally, its turbulisation.

Keywords: subsonic plane macrojet, subsonic plane microjet, hot-wire anemometric measurements, flow smoke visualization, laser sheet, transverse acoustic field, synchronization, sinusoidal instability.