

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАМИНАРНО-ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕХОДА В ДОЗВУКОВЫХ МИКРОСТРУЯХ

Анискин В.М.¹, Мухин К.А.^{1,2}

¹ Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, 630090, Россия, Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

² Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Целью данной работы являлось: определение координаты ламинарно-турбулентного перехода в дозвуковых микроструях истекающих из плоских микросопел.

В экспериментах использовались плоские сопла размером 175x3900, 130x3823, 83,3x3823, 65,2x3290, 52,5x3000, 47x2410, 34,5x3356, 26,2x2826, 22,3x593 и 15,7x2468 мкм (см. рис. 1). Все сопла были разработаны и изготовлены в ИТПМ СО РАН.

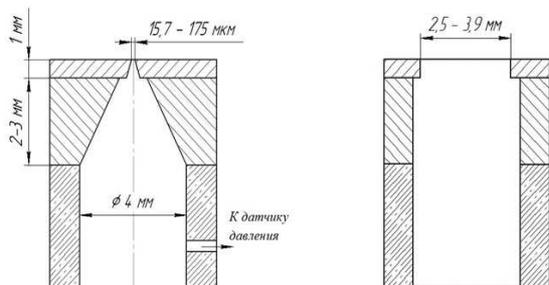


Рис. 1. Схема сопла.

Для определения числа Рейнольдса необходимо знать скорость истечения струи из сопла. Для определения скорости газа на выходе сопла были проведены дополнительные эксперименты. В качестве рабочего газа использовался воздух (см. рис. 2).

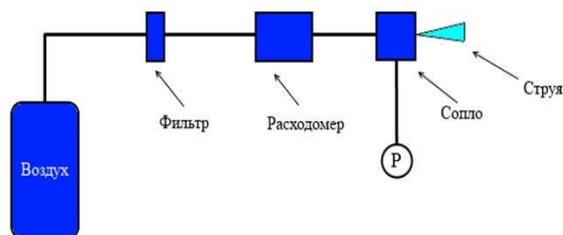


Рис. 2. Схема эксперимента.

Воздух, проходя через фильтр и расходомер, подавался в сопло. В процессе эксперимента расход менялся от 0 до 500 мл/мин. В форкамере сопла измерялось давление. Зная давление, воспользовавшись уравнением Бернулли, находилась скорость.

На рисунке 3 представлен график зависимости скорости истечения микроструи от расхода газа (см. рис. 3).

Эксперименты по определению положения точки ламинарно-турбулентного перехода проводились на основе метода лазерно-индуцированной флуоресценции паров ацетона. В качестве рабочего газа использовался воздух (см. рис. 4).

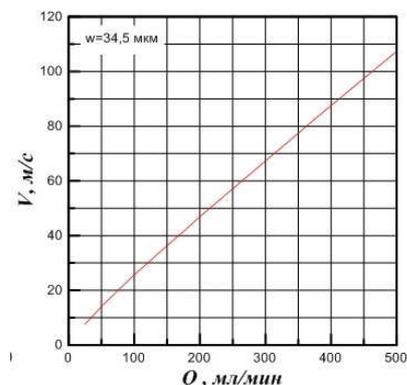


Рис. 3. Зависимость скорости струи, истекающей из сопла 34,5 мкм, от расхода.

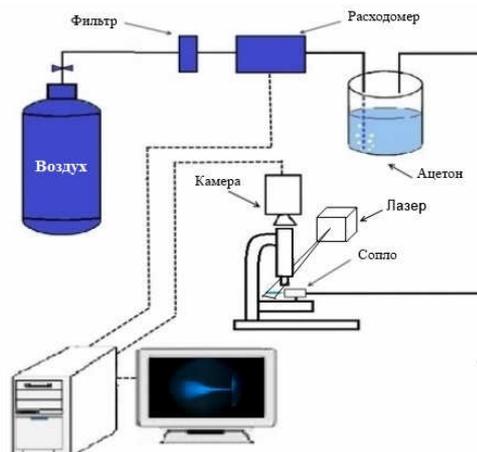


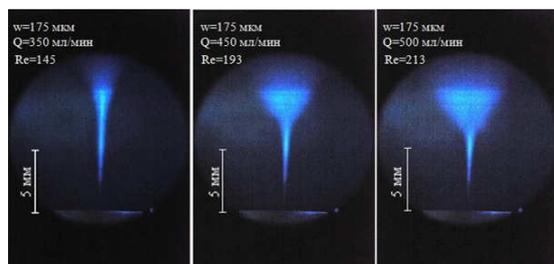
Рис. 4. Схема установки.

Проходя через фильтр и расходомер, воздух подавался в емкость, наполненную ацетоном. Внутри емкости воздух насыщался парами ацетона. Далее воздушно-ацетонная смесь подавалась в сопло. Визуализация осуществлялась с помощью ультрафиолетового лазера, под воздействием излучения которого пары ацетона начинали флуоресцировать. Структура дозвуковой плоской микроструи фиксировалась через микроскоп на камеру. Расход газа менялся от 100 до 500 мл/мин.

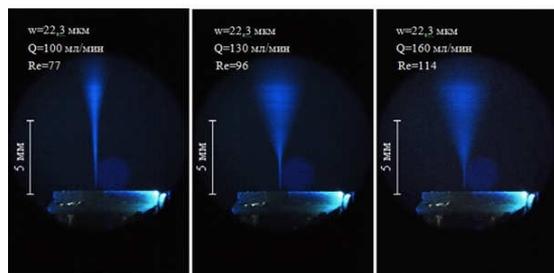
На фотографиях видно, что струя имеет как ламинарный участок, так и турбулентный (см. рис. 5). Ламинарный участок является начальным, и струя выглядит узкой полосой. Затем происходит резкое расширение струи, связанное с переходом течения струи в турбулентный режим. Точка начала расширения

струи принималась за точку ламинарно-турбулентного перехода.

По фотографиям была определена координата ламинарно-турбулентного перехода микроструй.



а



б

Рис. 5. Визуализация течения струи, истекающей из сопла 175 мкм (а) и 22,3 мкм (б).

Можно заметить, что с увеличением числа Рейнольдса точка ламинарно-турбулентного перехода смещается к соплу. Положение точки нормировалось на ширину сопла.

На рисунке 6 представлены зависимости положения точки ламинарно-турбулентного перехода для струй, истекающих из сопел шириной от 175 мкм до 22,3 мкм, в зависимости от числа Рейнольдса (см. рис. 6).

Из графика видно, что все данные по ламинарно-турбулентному переходу хорошо согласуются друг с другом. При малых значениях чисел Рейнольдса наблюдается большой относительный участок ламинарного течения, который затем резко сокращается до значений.

Полученные данные хорошо согласуются с данными, полученными в работе [1].

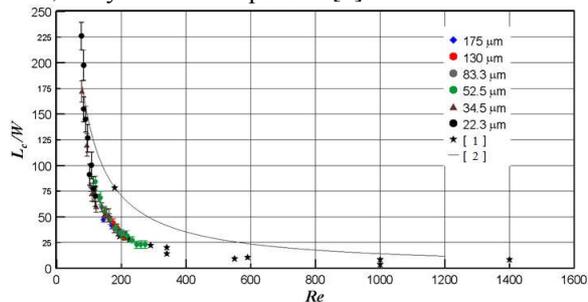


Рис. 6. Зависимости положения точки ламинарно-турбулентного перехода от числа Рейнольдса.

Однако налицо существенное расхождение с результатами, полученными в работе [2]. Расхождение можно объяснить тем, что, по нашему мнению, точка ламинарно-турбулентного перехода в [2] была получена некорректно.

Выводы:

- С помощью метода лазерно-индуцированной флуоресценции визуализированы струи, истекающие из сопел шириной от 175 мкм до 22,3 мкм.
- Определена точка ламинарно-турбулентного перехода в дозвуковых микроструях, истекающих из сопел шириной от 175 мкм до 22,3 мкм.
- Наличие как хорошего согласования полученных данных по ламинарно-турбулентному переходу с известными результатами, так и сильное их различие с другими данными требует дальнейшего изучения вопроса ламинарно-турбулентного перехода в дозвуковых микроструях.

Список литературы:

1. В.В. Леманов, В.И. Терехов, К.А. Шаров, А.А. Шумейко, Экспериментальное исследование затопленных струй при низких числах Рейнольдса, Письма в "Журнал технической физики". - 2013. - Т. 39, вып. 9. - С. 34-40
2. С. Gau, С.Н. Shen, Z.B. Wang, Peculiar phenomenon of micro-free-jet flow, Phys. Fluids. 2009. Vol. 21. P. 092001.