

РАЗВИТИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРИ МИКРОСТРУЙНОМ ДИФфуЗИОННОМ ГОРЕНИИ ПРОПАНА

Литвиненко Ю.А.

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

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований круглой и плоской микроструи с П-образным и параболическим профилем скорости на срезе сопла в присутствии акустических колебаний при малых числах Рейнольдса. По результатам исследований установлено, что микроструя как и макроструя трансформируется под воздействием акустического поля. Однако в случае развития микроструи не происходит генерации кольцевых вихрей и отмечается новый механизм трансформации круглой струи в плоскую с развитием характерной для плоских струй синусоидальной неустойчивости. Показаны картины визуализации диффузионного горения пропана в таких микроструях, отмечаются особенности в развитии неустойчивости при наличии конвективных сил.

Круглая микроструя. Экспериментальные исследования структуры и характеристик развития круглой мини (диаметр выходного отверстия сопла – 1,5 мм) и микроструи (диаметр выходного отверстия сопла от 200 до 500 $\mu\text{м}$) под воздействием поперечного акустического поля большой интенсивности (90 – 100 дБ) показали, что струя уплощается, развиваются синусоидальные колебания и ниже по течению струя расщепляется на две [1]. Были проведены экспериментальные исследования процесса диффузионного горения (пропан/воздух) в круглой струе при наличии внешнего акустического воздействия. На рис.1 и рис.2 представлены снимки факела для струи с диаметром сопла $d = 1$ мм и $d = 0,5$ мм, соответственно. Уменьшение диаметра сопла в 2 раза сместило область оптимальных частот акустических колебаний с 2,8 кГц в 5,7 кГц.

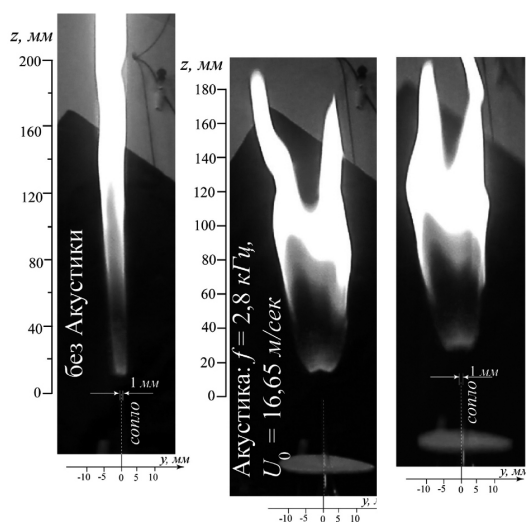


Рис.1. Диффузионное горение круглой микроструи пропана в поперечном акустическом поле. Слева - пламя струи без акустического воздействия, справа - набор фото пламени струи при акустическом воздействии, $d=1$ мм, $f=2,8$ кГц, $U_0=16,65$ м/сек, $Red=U_0 \times d/\nu=1110$

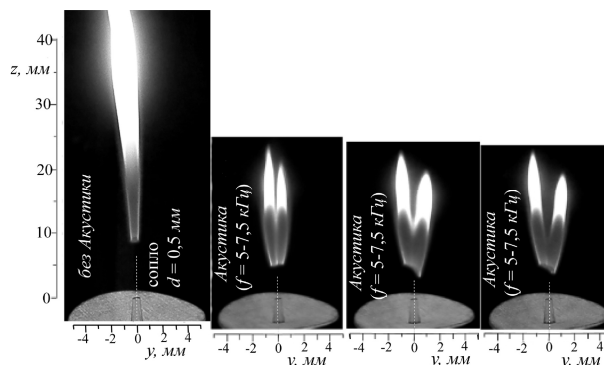


Рис.2. Диффузионное горение круглой микроструи ($d=0,5$ мм) в поперечном акустическом поле. Слева - пламя струи без акустического воздействия, справа - при акустическом воздействии, съемка с разных углов, $f=5-7,5$ кГц, $U_0=12,5$ м/сек, $Red=U_0 \times d/\nu=417$

Следует отметить, что раздвоение пламени струи наблюдается только в случае реализации поднятого пламени. Установлено, что развитие синусоидальной неустойчивости в пламени круглой микроструи, зависит от направления вектора поперечного акустического поля.

Плоская микроструя. Проведены экспериментальные исследования процесса диффузионного горения пропана в плоской струе на выходе из сопла малого удлинения ($l/h = 10$, где l – длина щели сопла и $h = 0,2$ мм – ширина щели сопла) при акустическом воздействии на пламя. Основываясь на результатах предыдущих исследований по струйной тематике [1, 2], для формирования параболического профиля на выходе сопла был реализован канал с удлинением $l/h \geq 150$, где l – длина канала и h – ширина щели. Частота акустического воздействия варьировалась от единиц Гц до 6 кГц, интенсивность звука составляла примерно 90 дБ. Скорость истечения струи контролировалась с помощью прецизионного расходомера и составляла $U_0 \approx 20,8$ м/сек. В результате проведенных экспериментов установлено, что присоединенное к срезу сопла пламя при наложении акустического поля заметно расширяется, вследствие распространения синусоидальной вихревой дорожки. В тоже время конвективные силы подавляют рост амплитуды возмущений. С ростом скорости истечения струи, при ее определенном пороговом значении, фронт пламени отходит от среза сопла и реализуется, так называемое, «поднятое» пламя (рис.3).

Таким образом появляется участок струи не охваченный пламенем, именно этот участок является областью роста синусоидальных возмущений до значительных амплитуд, которые способны трансформировать факел. В данной ситуации наблюдается раздвоение пламени при акустическом воздействии в диапазоне частот от 1 до 3 кГц. Следует отметить, что при режиме горения когда отсутствует акустиче-

ское воздействие, высота поднятого от среза сопла пламени примерно в два раза больше, чем данный

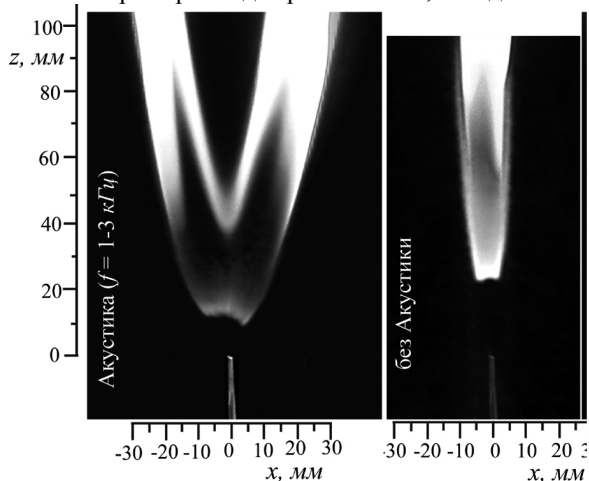


Рис.3. Процесс горения плоской микроструи в поперечном акустическом поле при диффузионном горении пропана.
 $h=0,2$ мм, $f=1-3$ кГц, $A \approx 90$ дБ, $U_0 \approx 32$ м/сек,
 $Re_h = U_0 \times h / \nu = 426$

параметр в ситуации наличия акустического воздействия на струю.

Выводы. •Обнаружено, что диффузионное горение пропана в круглой ламинарной микроструе с ударным и параболическим профилем скорости на срезе сопла сопровождается наличием присоединенного к срезе сопла пламени, развивающегося вниз по потоку без каких-либо пульсаций.

•Установлено, что диффузионное горение пропана в круглой турбулентной микроструе сопровождается отрывом пламени от среза сопла. Процесс горения охватывает только сдвиговый слой струи, по форме напоминающий полый цилиндр, поскольку

именно в этом слое максимальный уровень пульсаций, а следовательно и более интенсивное смешение газа с воздухом.

• Установлено, что пламя при горении круглой микроструи в поперечном акустическом поле подвержено влиянию акустических колебаний. Под действием акустического поля происходит уплощение круглой струи с разделением струи на две, вызванное развитием колебательного процесса в струе. При отключении акустики, процесс горения возвращается к первоначальным условиям горения.

• Показано, что «поднятое» пламя при диффузионном горении круглой микроструи, находящейся под воздействием поперечного акустического поля, веерно расширяется в плоскости ориентированной к источнику акустических колебаний. При вращении источника акустики вокруг факела, плоский факел также вращается ориентируясь на положение источника акустики.

Список литературы

1. Козлов В.В., Грек Г.Р., Литвиненко Ю.А., Козлов Г.В., Литвиненко М.В. Дозвуковые круглая и плоская макро и микро – струи в поперечном акустическом поле //Вестник НГУ. Серия: Физика. – 2010. – Т 5. – N. 2. – С. 28 – 42.
2. Kozlov G.V., Grek G.R., Sorokin A.M., and Litvinenko Yu.A. Influence of initial conditions at the nozzle exit on the structure of round jet // Thermophysics and Aeromechanics. – 2008. – Vol. 15. – N. 1. – P. 55 – 68.

Работа поддержана Грантом РФФИ 14-08-31166 мол_а