

КОНДЕНСАЦИЯ АРГОНА ЗА ЗВУКОВЫМ СОПЛОМ И ДИАФРАГМОЙ

© *Е.М.Аборнев, О.А.Нерушев, С.А.Новопашин,
А.Л.Перепелкин, Г.И.Сухинин*

При свободном расширении газа в вакуум происходит его охлаждение. При этом достаточно просто реализуются условия пересыщения, что может приводить к образованию в потоке частиц конденсированной фазы — кластеров. Изменение условий истечения позволяет варьировать характеристики образованных кластеров. Этим определяется использование такого процесса для получения и исследования собственно свойств кластеров [1,2]. Изменение распределений полей газодинамических величин может сказаться на кинетике неравновесных процессов, в частности на процессе конденсации. Геометрия сопла вблизи критического сечения формирует поле течения и определяет параметры эффективного источника при расширении газа в вакуум [3]. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование конденсации аргона и определение влияния геометрии дозвуковой области сопла на этот процесс.

Геометрия использованных сопел показана на рис. 1. При истечении из сопла диафрагмы (а) звуковая поверхность смещена вниз по потоку, а для звукового сопла (б) звуковая поверхность совпадает с плоскостью выходного сечения.

Для измерений полей плотности и исследования процесса конденсации использован метод, основанный на рэлеевском рассеянии света [2,4]. Интенсивность рассеянного излучения J , при наличии в потоке газа конденсированной фазы, определяется следующим выражением [4]:

$$J = AI_0N [(1 - q) + q\langle i \rangle], \quad (1)$$

где I_0 — интенсивность опорного излучения, N — полная концентрация молекул в исследуемой точке, $q = \sum N_i i$ — массовая доля конденсированной фазы (суммирование от $i = 2$ до $i = \infty$), $\langle i \rangle = \frac{\sum N_i i^2}{\sum N_i i}$ — средний размер кластера. В частности, в отсутствие конденсированной компоненты интенсивность рассеянного сигнала пропорциональна концентрации молекул. A — геометрический фактор, который определялся в тарировочных экспериментах в газе известной концентрации.

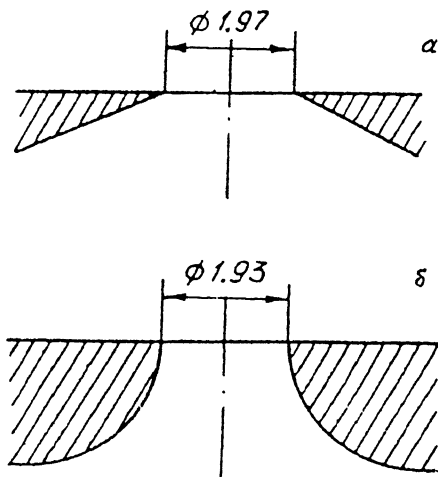


Рис. 1. Геометрия использованных сопел (диаметр выходного отверстия в мм).

Эксперименты проведены в вакуумной камере, оснащенной высоковакуумной откачкой. Источником опорного излучения является вторая гармоника излучения лазера на алюмоиттриевом гранате (длина волны — 0.54 мкм, энергия в импульсе — 20 мДж, частота повторений — 2 Гц). Локализация измерений (10^{-6} см³) определялась геометрией фокусирования лазерного излучения и сбора рассеянных фотонов. Регистрация рассеянного излучения осуществлялась ФЭУ-84. Для повышения точности в каждой пространственной точке проводилось усреднение по серии из 20–30 измерений. Температура газа в форкамере сопла контролировалась термопарой и во всех экспериментах составляла 296 К.

На рис. 2 приведено осевое распределение интенсивности рассеянного сигнала для течения аргона при различных давлениях торможения. Интенсивность нормирована на величину, соответствующую концентрации аргона в форкамере сопла J_0 . На начальной стадии наблюдается расширение газа, близкое к изэнтропическому с показателем адиабаты 1.67 [5]. Появление в потоке кластеров приводит к увеличению рассеянного сигнала по сравнению с изэнтропическим течением. Участок роста сигнала соответствует области интенсивных процессов конденсации. В этой области увеличение интенсивности рассеяния отдельными кластерами компенсирует падение плотности рассеивающих центров. При этом увеличение давления торможения приводит к смещению координаты начала конденсации вверх по

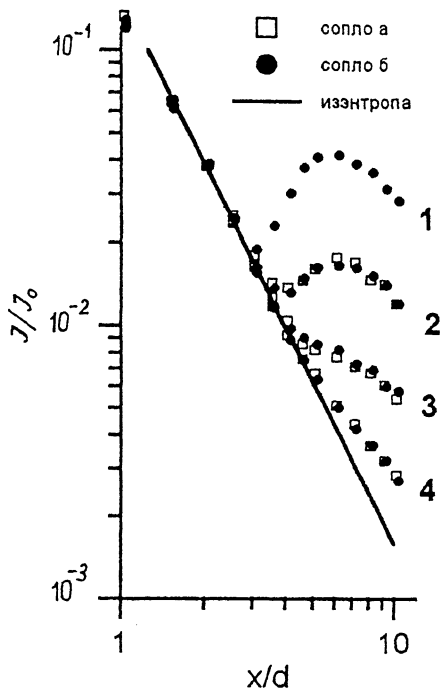


Рис. 2. Зависимость нормированной интенсивности рассеянного сигнала от расстояния до среза сопла для различных давлений торможения: 1 — 100 КПа, 2 — 75 КПа, 3 — 60 КПа, 4 — 50 КПа.

потoku. При дальнейшем расширении процесс конденсации замораживается из-за недостатка столкновений и падение сигнала приближается к обратно пропорциональной квадратичной зависимости от расстояния до среза сопла. Совпадение данных для различной геометрии сопел свидетельствует о том, что кинетика процессов конденсации близка и данные, полученные для одной геометрии сопла, могут быть использованы в расчетах либо экспериментах для другой геометрии. Отметим, что данные, полученные в [6], о зависимости поведения димерной компоненты в дальнем поле течения при конденсации азота косвенно свидетельствуют о том же.

Зависимость интенсивности рассеянного сигнала при наличии в потоке кластеров (1) позволяет оценить средний размер кластера как функцию давления торможения. Для данных на 10 калибрах, полагая $q = 10\%$, получим $\langle N \rangle = 10, 35, 80, 200$ атомов в кластере соответственно при давлении 50, 60, 75 и 100 КПа.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 96-02-19045.

Список литературы

- [1] *Востриков А.А., Гилева В.П., Дубов Д.Ю.* // ЖТФ. 1992. Т. 62. В. 1. С. 60-69.
- [2] *Востриков А.А. и др.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 19. С. 25-28.
- [3] *Ashkenas H., Sherman F.S.* In: "Rarefied Gas Dynamics". V. 2. J / Ed. deLeeuw. N.-Y.: Academic Press, 1966. P. 84-105.
- [4] *Новопашин С.А. и др.* // ПТЭ. 1986. В. 5. С. 158-159.
- [5] *Жохов В.А., Хомутский А.А.* // Труды ЦАГИ. 1970. В. 1224. 224 с.
- [6] *Murphy Y.R., Miller D.R.* // J. Phys. Chem. 1984. V. 88. N 20. P. 4474-4478.

Институт теплофизики
СО РАН
Новосибирск

Поступило в Редакцию
20 мая 1996 г.