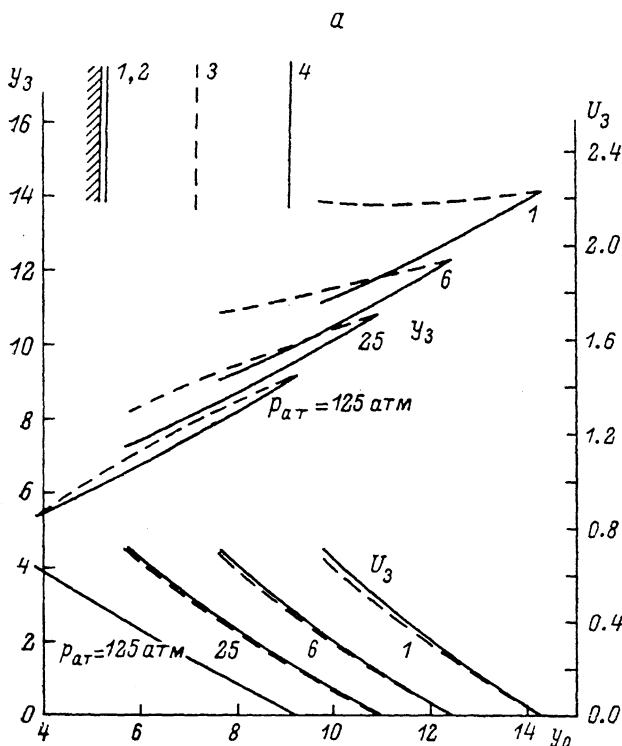


## ОБ ИНТЕНСИВНОМ ПОВЕРХНОСТНОМ ИСПАРЕНИИ МЕТАЛЛА В ГАЗОВОЙ АТМОСФЕРЕ

А. В. Бутковский, Ю. И. Сенцов

В последнее время значительное внимание уделяется исследованию газодинамических процессов, происходящих при испарении металлов излучением до момента возникновения плазмы. В работе [1] рассмотрена автомодельная задача о быстром поверхностном испарении металла в посторонний газ без учета конденсации. В [2] подробно рассмотрено испарение металла в вакуум с учетом скачка конденсации. В работе [3] проведены расчеты автомодельного сверхзвукового газодинамического режима испарения металла в газовую атмосферу с уче-



том скачка конденсации. В возникающем течении пары металла проходят слой Кнудсена, скачок конденсации. Далее они проходят волну разрежения и попадают в область стационарной волны, в которой параметры потока постоянны. Затем следует область распространения ударной волны, граничащая с покоящимся газом. С уменьшением температуры поверхности  $T_0$  протяженность волны разрежения уменьшается, обращаясь при некотором значении  $T_0 = T_*$  в нуль. В [3] предполагается, что при  $T_0 < T_*$  сверхзвуковой газодинамический режим испарения сменяется диффузионным, и проведены расчеты соответствующего граничного значения плотности потока поглощенного излучения.

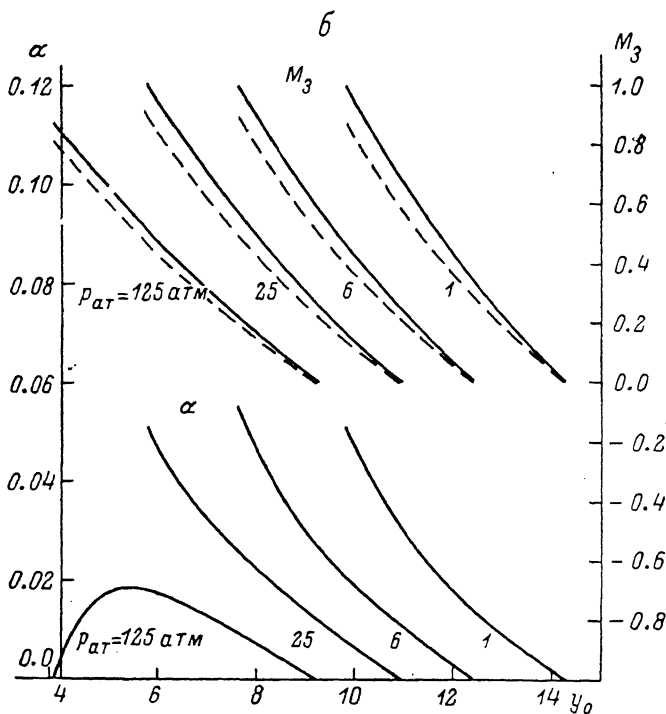
В настоящей работе показано, что между сверхзвуковым и диффузионным при  $T_0 < T_*$  расположен дозвуковой газодинамический режим испарения. Схема соответствующего течения, возникающего после мгновенного нагревания поверхности до температуры  $T_0 < T_*$ , представлена на рисунке, а (1 — слой Кнудсена, 2 — скачок конденсации, 3 — контактный разрыв, 4 — ударная волна). Она отличается от рассмотренной в [1] наличием скачка конденсации и двухфазной среды. Уравнения на кнудсеновском слое, скачке конденсации, контактном разрыве и ударной волне позволяют найти все параметры течения, в том числе скорость двухфазной среды в области между скачком конденсации и контактным разрывом, являющуюся в данном случае дозвуковой.

На рисунке, а, б приведены результаты расчетов зависимости безразмерных скорости  $U_3$ , обратной температуры  $y_3$ , степени конденсации  $\alpha$  и числа Маха двухфазной среды  $M_3$

от обратной температуры поверхности Al  $y_0$  (обозначения те же, что и в [3]) при различных значениях давления  $p_{ат}$  покоящегося воздуха. Они являются продолжением результатов, полученных в [3] в области  $T_0 < T_*$ . Отметим, что зависимость  $y_*$  ( $y_*$  пропорционален  $1/T_*$ ) от  $p_{ат}$ , приведенная в [3], весьма неточна. Более точная аппроксимация этой зависимости для Al имеет вид

$$y_* = 9.87 - 0.006 p_{ат} - 2.76 \log p_{ат} \quad (p_{ат} \text{ в атм } 1 < p_{ат} < 100).$$

На рисунке, а, б штриховыми кривыми приведены также значения  $U_3$ ,  $y_3$  и  $M_3$ , полученные без учета конденсации (на основе модели [1]); сплошные линии — расчет с учетом скачка



Продолжение рисунка.

конденсации. Заметнее всего конденсация сказывается на значениях числа Маха и температуры двухфазной среды. В то же время ее влияние на массовый расход незначительно.

Границу между дозвуковым газодинамическим и диффузионным режимами испарения определяет условие равенства давления насыщенного пара при температуре  $T_0$  внешнему давлению  $p_{ат}$ .

В заключение авторы выражают благодарность А. В. Бурмистрову и О. Г. Бузыкину за полезное обсуждение работы.

#### Литература

- [1] Найт Дж. Теоретическое моделирование быстрого поверхностного испарения при наличии противодействия. — Ракетная техника и космонавтика, 1979, т. 17, № 5, с. 81—86.
- [2] Анисимов С. И., Имас Я. А., Романов Г. С., Ходыко Ю. В. Действие излучения большой мощности на металлы. М.: Наука, 1970, с. 272.
- [3] Игошин В. И., Курочкин В. И. Лазерное испарение металла в газовой атмосфере. — Квант. электр., 1984, т. 11, с. 1555—1561.

Всесоюзный  
электротехнический институт им. В. И. Ленина  
Москва

Поступило в Редакцию  
6 сентября 1985 г.  
В окончательной редакции  
16 мая 1986 г.