

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Д. С. КАМЕНЕЦКАЯ и И. Б. ПИЛЕЦКАЯ

О ПЕРЕГРЕВЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА В ВАКУУМЕ

(Представлено академиком И. П. Бардиным 11 XII 1953)

В отдельных литературных источниках имеются утверждения, свидетельствующие о том, что в вопросе о возможностях вакуумных плавок нет достаточной ясности.

Так например, в работе (1), стр. 132, говорится: «Точка кипения магния в вакууме (равном 1 мм рт. ст.) 604° ». В действительности же магний при этой температуре не может быть расплавлен. При этой температуре и давлении происходит возгонка магния, а не кипение. Там же на стр. 171 написано, что «температура кипения цинка в абсолютном вакууме принимается равной 419° » (т. е. температуре плавления), тогда как кипение цинка при температуре плавления должно происходить в сравнительно низком вакууме — 0,16 мм рт. ст. При более высоком вакууме цинк будет возгоняться, а не плавиться.

В связи с изложенным мы считаем целесообразным привести известную диаграмму состояния вещества в координатах давление — температура, рассмотрев ее с прикладной точки зрения.

В зависимости от величины внешнего давления агрегатное превращение при нагреве будет проходить через жидкое состояние или минуя его: при внешнем давлении, равном P_2 (см. рис. 1), при нагреве произойдет испарение твердого вещества; при давлении P_1 вещество сначала расплавится, затем, при дальнейшем нагреве, жидкость закипит и превратится в пар.

Таким образом, из диаграммы $P-T$ непосредственно вытекает, что при давлении меньшем, чем давление в тройной точке, данное вещество расплавить невозможно.

Следовательно, в вакууме могут быть расплавлены вещества, у которых давление в тройной точке ниже, чем давление, отвечающее данному разрежению, и наоборот, те вещества, в том числе и металлы, у которых давление в тройной точке выше давления, создаваемого при достижении того или иного разрежения, расплавить в вакууме невозможно (речь идет о стабильных состояниях).

Поскольку температура плавления слабо зависит от давления (в области обычных давлений), вместо данных о давлении в тройной точке можно с достаточной степенью точности пользоваться данными об упругости паров данного вещества при температуре плавления (соответствующей атмосферному давлению).

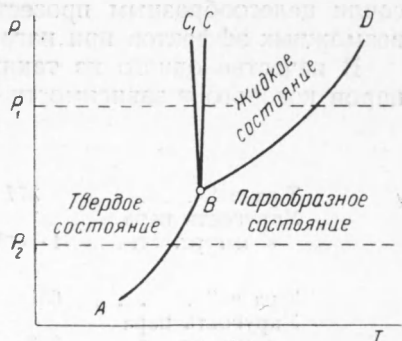


Рис. 1

В качестве примеров приведем данные для упругости паров некоторых металлов, солей, окислов и органических веществ при температуре их плавления (табл. 1).

Таблица 1

Вещество	Т. пл. в °	Упругость паров при т. пл. в мм рт. ст.
Mg	651	2,2
Zn	419	0,16
Cd	321	0,10
Mn	1244	0,904
NaCl	800	0,3
C ₁₀ H ₁₆ O (камфора)	176	635
C ₇ H ₆ O ₂ (бензойная кислота)	121,7	4
Al ₂ O ₃	2050	0,4
C ₁₀ H ₈ (нафталин)	80	7,4
SiO ₂	1710	7,6
Al	660	1,2·10 ⁻⁶

Перечисленные в табл. 1 вещества невозможно расплавить в вакууме при давлении, равном или ниже 10⁻² мм рт. ст. Для сравнения в конце таблицы приведено значение упругости пара алюминия при температуре плавления. Алюминий можно не только расплавить в вакууме, но нагреть его в жидком состоянии до значительных температур (до ~1000°), тогда как, например, SiO₂, Mg, Mn, Cd, C₁₀H₈ и др. интенсивно испаряются задолго до достижения температуры плавления, соответствующей атмосферному давлению.

В случае, когда летучие компоненты входят в состав сплава, последний может быть расплавлен в вакууме без кипения, если парциальное давление паров каждого компонента меньше, чем давление, создаваемое над сплавом.

Как указывалось сделанный нами вывод непосредственно вытекает из основных положений термодинамики и в связи с этим не нуждается в дополнительных экспериментальных доказательствах. Тем не менее, мы сочли целесообразным провести отдельные опыты с целью выяснения возможных эффектов при нагреве веществ в вакууме.

В качестве одного из таких веществ был выбран магний, упругость паров которого в зависимости от температуры приведена в табл. 2.

Таблица 2

Т-ра в °	377	417	437	492	515	572	602
Упругость пара в мм рт. ст.	1·10 ⁻³	5·10 ⁻³	1·10 ⁻²	5·10 ⁻²	0,1	0,5	1
(продолжение)							
Т-ра в °	651	672	723	837	890	977	1057
Упругость пара в мм рт. ст.	2,2	5	10	50	100	250	500
						760	

Бруски магния диаметром 30 мм и высотой 20 мм с углублением в центре для введения термодипа нагревались в вакуумной высокочастотной печи. Скорость нагрева регулировалась изменением мощности, вводимой в металл.

В пространстве печи создавалось разрежение 10⁻² мм рт. ст. При медленном нагреве магний испарялся в интервале температур 500—600°, покрывая налетом внутреннюю поверхность печи. После достаточной выдержки брусок весь испарялся. При быстром нагреве и интенсивной подаче тепла магний не успевал испариться в указанном интервале тем-

ператур и перегревался выше температуры, соответствующей при данном давлении (10^{-2} мм рт. ст.) равновесию (см. кривую *AB* на рис. 1).

В наших опытах максимальная температура нагрева магния достигала 770° , что на $\sim 300^{\circ}$ превышает температуру возгонки при данном давлении и на 120° превышает температуру плавления (которая, впрочем, при данном разрежении не имеет физического смысла). Такой перегрев аналогичен перегреву жидкости выше температуры кипения при отсутствии центров парообразования.

Возможность перегрева жидкости выше температуры кипения (правее кривой *BD*, рис. 1) общеизвестна. Возможность перегрева твердого тела выше температуры плавления (правее кривой *BC*, рис. 1) показана в известных опытах С. Э. Хайкина и Н. П. Бене⁽²⁾ (олово перегрето на $1-2^{\circ}$ выше температуры плавления).

В наших опытах удалось перегреть твердое тело — магний — выше температуры возгонки, т. е. правее кривой *AB* рис. 1.

Значительный перегрев выше температуры сублимации по сравнению с перегревом выше температуры плавления можно отнести за счет того, что в случае сублимации имеет место переход в состояние, сильно отличающееся по характеру межатомных связей, тогда как при плавлении эта разница значительно меньше.

Поступило
23 X 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. П. Славинский, Физико-химические свойства элементов, Л., 1952.
² С. Э. Хайкин, Н. П. Бене, ДАН, **23**, № 1, 31 (1939).