

НАГРЕВ ЖИДКОГО УГЛЕРОДА ДО ТЕМПЕРАТУРЫ 7000 К ИЗЛУЧЕНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ЛАЗЕРА

А.В.Кириллин, М.Д.Коваленко, М.А.Шейндлин

Показана возможность стационарного нагрева конденсированного вещества, в частности, углерода до температур $T \approx 7000\text{К}$ при давлении газа, окружающего образец, $p \lesssim 10^8$ Па в контролируемых условиях.

Нагрев конденсированных веществ до температур, значительно превышающих $T_{\text{пл}}$ наиболее тугоплавких элементов и соединений при высоких давлениях окружающей газовой среды представляет значительный интерес для физики фазовых превращений и некоторых приложений. Особенно привлекательной представляется возможность достижения окрестности критической точки указанных веществ и проведения измерений физических свойств жидкости в этой области параметров ($T > 5000\text{К}$, $p = 10^7 - 10^9$ Па).

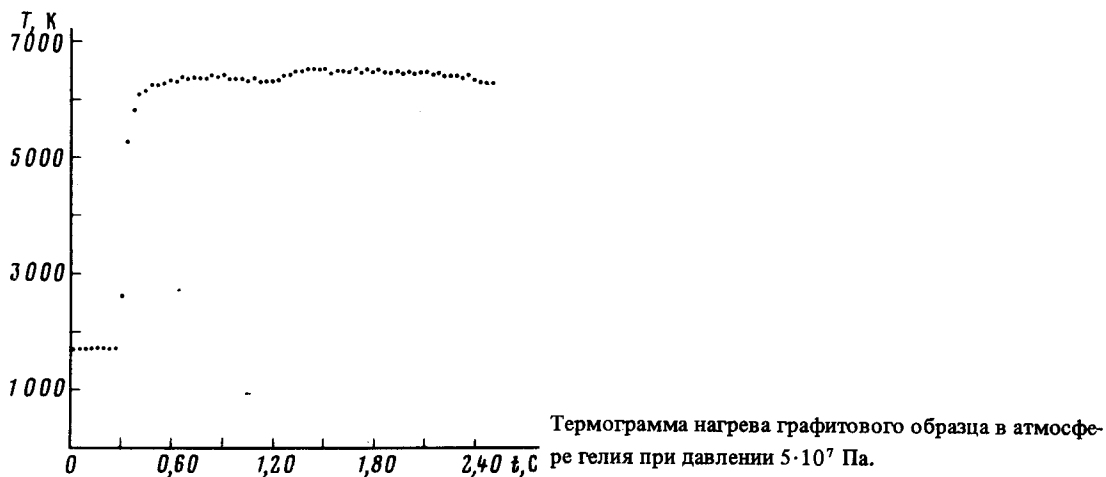
В настоящее время принято считать¹, что достижение указанных параметров возможно только с помощью импульсных методов, например^{2,3}. Однако, при использовании этих методов возникает ряд сложностей в определении искомых величин, в частности, температуры.

В данной работе сделана попытка достижения указанной выше области p – T -параметров с помощью стационарного нагрева исследуемого образца сфокусированным излучением достаточно мощного твердотельного лазера с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм (ИАГ: Nd^{3+} , 500 Вт). В камере высокого давления, в которой размещался исследуемый образец, создавалось давление инертного газа (He, Ne, Ar) до 10^8 Па. После этого производился нагрев образца, длившийся, как правило, несколько секунд. Температура в пятне нагрева измерялась с помощью специально созданного пирометрического устройства, обеспечивающего измерение яркостной температуры на длине волны 0,65 мкм с погрешностью, не превышающей 3% при 7000 К. Плотность потока излучения в пятне нагрева достигала $3 \cdot 10^4$ Вт/см². Выбором определенной геометрии было минимизировано влияние прогретой газовой среды на процесс нагрева образца и на температурные измерения. Приповерхностный прогрев газа приводил к хаотическому изменению градиента его плотности и, следовательно, показателя преломления. Принципиальным моментом в выборе геометрии экспериментального участка было расположение окна, через которое осуществлялся как ввод лазерного излучения, так и температурные измерения. Оно располагалось почти вплотную к нагреваемой поверхности образца, на расстоянии 2 – 3 мм от нее. Это позволило подводить лазерное излучение к поверхности образца через существенно неоднородную плотную газовую среду практически без рассеивания и уверенно измерять температуру в пятне нагрева оптическим методом.

В качестве исследуемого вещества был выбран углерод (графит), имеющий уникально высокие параметры тройной точки графит – жидкость – пар: $p_{\text{T}} = 10^7$ Па, температура по данным разных авторов составляет $T_{\text{T}} = 4000 - 5000\text{К}$. Критические параметры углерода неизвестны. По оценке, выполненной с использованием теории подобия⁴, $p_{\text{к}} = 2,2 \cdot 10^8$ Па, $T_{\text{к}} = 6800\text{К}$.

При давлении выше $1,5 \cdot 10^7$ Па на дне образующегося в результате испарения вещества кратера обнаруживались среды расплавленного углерода либо в виде капли диаметром до 1 мм, имеющей металлический блеск, либо в виде потоков на стенках кратера. Капли крупных размеров на дне кратера имели плоскую поверхность. На шлифах образцов в плоскости, проходящей через ось кратера, зона расплава выглядела как мелкозернистая изотропная структура с размером кристаллитов ≈ 10 мкм, резко отличающаяся от исходной слоистой структуры пирографита.

Полученные термограммы нагрева (рис. 1) имели характерную зону "плато" — участок стационарной температуры, соответствующей интенсивному испарению жидкого углерода при данном внешнем давлении. Температура "плато" зависела только от внешнего давления и изменялась от $\approx 5000\text{K}$ при давлении 10^7 Па до $\approx 7000\text{K}$ при давлении 10^8 Па .



Оценки показывают, что в наших условиях процесс испарения углерода близок к равновесному, т. е. отсутствуют заметные гидродинамические эффекты на границе жидкость — пар. При этом давление насыщенного пара испаряющегося углерода должно быть близко к давлению окружающего инертного газа. Таким образом, результаты измерения зависимости температуры "плато" от внешнего давления определяют линию равновесия жидкой и паровой фаз углерода (линию насыщения). Полученные экспериментальные данные описываются уравнением:

$$\ln p, \text{ Па} = (24,7 \pm 0,4) - (4,3 \pm 0,3) 10^4 \frac{1}{T, \text{ К}}, \quad (T = 5000 - 7000\text{K}),$$

которое было использовано для определения теплоты испарения жидкого углерода: $\Delta H_{\text{исп}} = 360\text{ кДж/моль}$. Согласно ⁴, в области температур $5000 - 7000\text{K}$ среднее число атомов в молекуле пара углерода примерно равно 4. В этом случае $\Delta H_{\text{исп}} = 90\text{ кДж/г-ат. С}$, что хорошо согласуется с оценкой ⁴: $\Delta H_{\text{исп}} = 84\text{ кДж/г-ат. С}$.

Область применения рассмотренного метода нагрева не исчерпывается исследованиями фазовых переходов конденсированная фаза — пар для наиболее тугоплавких веществ. Другие возможные приложения, по нашему мнению, связаны с синтезом тугоплавких соединений при высоких давлениях и изучением их фазовых диаграмм, с лазерной обработкой материалов и т. п.

Литература

1. Мартынюк М.М. Журнал физической химии, 1983, 57, 810.
2. Cezairliyan A. High temperatures — high pressures, 1979, 11, 9.
3. Gathers G.R., Shaner J.W., Hodgson W.M. High temperatures — high pressures, 1979, 11, 529.
4. Leider H.R., Krikorian O.H., Young D.A. Carbon, 1973, 11, 555.