

УДК 536.425

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Л. Е. ШТЕРЕНБЕРГ, А. А. ЖУКОВ, В. К. ТОМАС, В. Н. СЛЕСАРЕВ

**МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ И РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ЧАСТИ ДИАГРАММЫ
СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ Fe — Fe₃C, СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ
ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЯМ**

(Представлено академиком Л. Ф. Верещагиным 21 V 1969)

Исследование системы Fe — C при повышенных и высоких давлениях представляет значительный интерес, в частности, в связи со стабилизацией карбидной фазы — цементита (^{1, 2}), а также в свете работ В. К. Григоровича, позволяющих прогнозировать появление карбидов железа нецементитного типа и алмаза (^{3, 4}). Ниже описаны исследования по синтезу цементита исходя из армко-железа и графита при давлениях 25 и 37 кбар. Армко-железо имело чистоту 99,9%. Спектрально чистый графит содержал примеси в количествах менее $3 \cdot 10^{-3}\%$. Давления 25,4 и 37 кбар фиксировали по точкам фазовых переходов в висмуте и таллии (^{5, 6}). Точность определения давления 25,4 кбар составляет ~2%, а давления 37 кбар ~5%. Температура измерялась хромель-алюмелевой термопарой, на термо-э. д. с. которой давление оказывает минимальное влияние (⁷) (верхний предел температур, измеряемых указанной термопарой, превышает 1250°С при упомянутых выше давлениях). Точность определения температур составляет ~2%.

В качестве основного был принят метод контактного плавления, позволяющий получать жидкие прослойки между контактирующими твердыми телами (железом и графитом), вступающими в реакцию. Образование жидкости контролировалось по типу получаемых микроструктур. При проведении синтеза в течение 10 мин. при давлениях 37 кбар и 1000° реакция идет в твердой фазе с образованием аустенита, претерпевающего мартенситное превращение при медленном охлаждении под давлением (рис. 1 а), а также местами и цементитной сетки. В поверхностном слое образуются компактные включения цементита в виде конгломерата сравнительно равноосных зерен, имеющих заметную огранку (рис. 1 б). Травление кипящим щелочным раствором пикрата натрия подтвердило карбидную природу этих конгломератов.

Рентгенографический анализ показал, что в контактном слое образовались фазы: аустенит, мартенсит и цементит.

При проведении процесса при 25 кбар и 1250° морфология образующейся карбидной фазы коренным образом изменяется. Цементит выпадает в виде широких пластин, полностью идентичных пластинам первичного цементита в заэвтектических белых чугунах. В промежутках между пластинами образуется обычный ледебурит (рис. 2 а). Тонкие морфологические особенности полученных пластин цементита полностью совпадают с описанными Я. В. Гречным, Я. Н. Малиночкой, К. П. Буниным и Ю. Н. Тараном особенностями строения кристаллов первичного цементита заэвтектических чугунов (рис. 2 б). Все это служит неоспоримыми признаками наступления плавления системы в контактном слое (в отдельных опытах этот слой разрастался настолько, что охватывал практически весь объем образца).

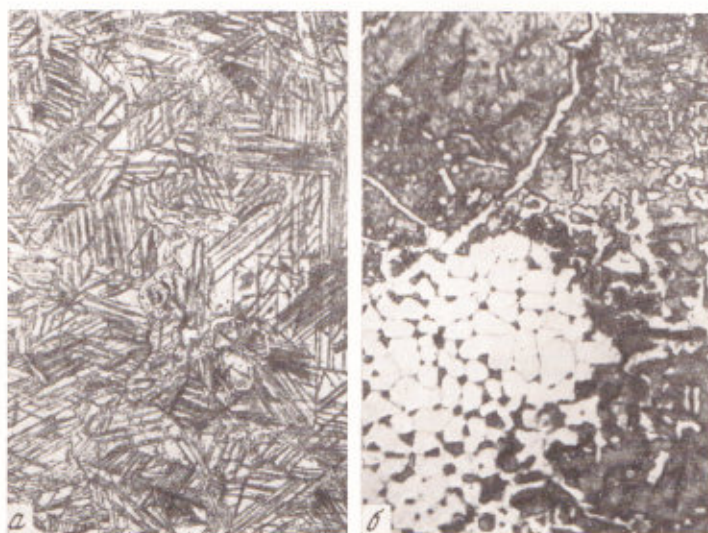


Рис. 1. Микроструктура диффузионного слоя, образовавшегося при 37 кбар и 1000° С без оплавления: *а* — зона с аустенито-мартенситной структурой (115×); *б* — компактные скопления зерен цементита; травление спиртовым раствором азотной кислоты (1000×)

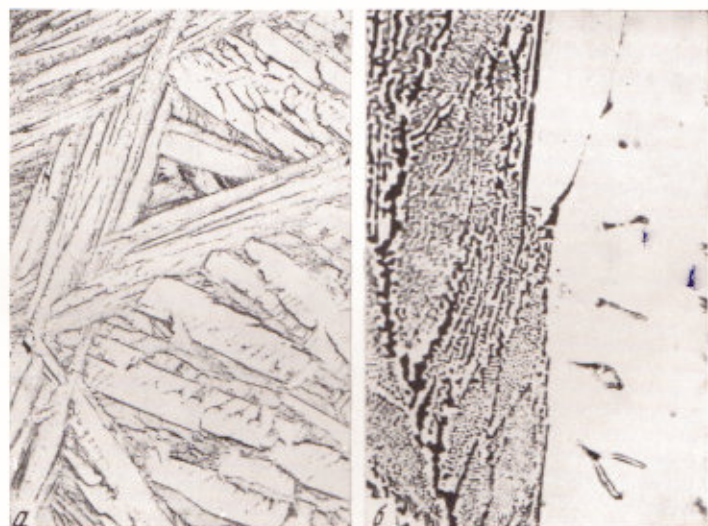


Рис. 2. Микроструктура оплавленных продуктов взаимодействия армко-железа и графита при 1250° С и 25 кбар. *а* — 115×, *б* — 1000×

Более того, высокое содержание углерода в этом слое, составляющее около 6% по данным планиметрии (в рамках аппроксимирования состава цементита как стехиометрического и с учетом сдвига эвтектической точки под влиянием давления), свидетельствует о том, что температура плавления цементита при 25 кбар лишь немногим превышает 1250°. Это свидетельствует о достоверности последних данных о температуре плавления цементита при атмосферном давлении — около 1200° по Хиллерту и еще более низкая цифра по Ханнеманну и Стронгу (8).

С повышением давления до 37 кбар количество пластин первичного цементита в контактном слое значительно уменьшается в связи с повышением температуры плавления цементита и ледебурита. Это подтверждается также сравнением рентгенограмм*. Так, на рентгенограмме контактного слоя, полученного при 25 кбар, наблюдаются одни только линии цементитной фазы (за исключением одной линии графита 002), интерференций α - и γ -фаз нет. На рентгенограмме же контактного слоя, полученного при 37 кбар, кроме цементитных линий видны достаточно сильные линии α -фазы.

Планиметрирование полученных микроснимков позволило приблизительно (с точностью ~5%) определить содержание углерода в оплавленном контактном слое исследованных образцов и в первом приближении построить линии ликвидусов диаграммы Fe — Fe₃C, соответствующие 25 и 37 кбар (рис. 3).

Описанная выше методика представляет интерес, так как она позволяет приблизительно определять состав жидкой фазы, соответствующий пределу насыщения, казалось бы, в весьма неравновесных условиях контактного плавления. Это объясняется тем, что коэффициент диффузии углерода в расплаве значительно выше, чем в твердой фазе, что позволяет жидкой фазе быстро и на всю глубину насыщаться углеродом, несмотря на постоянное оплавление в ней железа, науглероживание которого протекает значительно медленнее.

Авторы выражают благодарность В. А. Шалашову, под руководством которого было выполнено исследование.

Всесоюзный научно-исследовательский институт
текстильного и легкого машиностроения
Москва

Поступило
15 V 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Т. П. Ершова, Е. Г. Понятовский, ДАН, 151, № 6, 1364 (1963). ² А. А. Жуков, А. П. Огарев, Физ.-хим. мех. матер., 2, № 3, 369 (1965). ³ В. К. Григорович, Изв. АН СССР, Металлы, № 4, 53 (1969). ⁴ В. К. Григорович, Литейное производство, № 1, 28 (1969). ⁵ G. C. Kennedy, P. N. La Mori, Lake George Conf. Very High Pressure Research, 1960. ⁶ Л. Ф. Верещагин, Е. В. Зубова и др., ДАН, 169, № 1, 74 (1966). ⁷ R. E. Hanneman, H. M. Strong, J. Appl. Phys., 37, № 2 (1966). ⁸ R. J. Brigham, G. R. Purdy, J. S. Kirkaldy, J. Phys. Chem. Solids, Suppl., 1, 161 (1967).

* Рентгенографический анализ выполнен на FeK _{α} -излучении по схеме на отражение. В связи с кристаллографической направленностью цементитных зерен в контактном слое необходимо было измельчить образцы и снимать рентгенограммы с вращающегося в собственной плоскости микрошлифа, изготовленного из конгломерата полученного порошка, скрепленного самотвердеющей бутакриловой смолой (не дающей ярко выраженных интерференций).

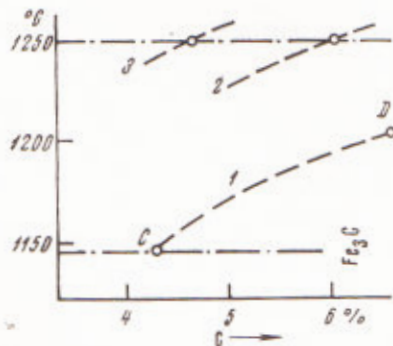


Рис. 3. Положение линии ликвидус диаграммы Fe — Fe₃C при атмосферном давлении (1), 25 кбар (2) и 37 кбар (3). Точки C, D — аустенито-цементитная эвтектика и точка плавления цементита соответственно