

В. М. КАРДОНСКИЙ

КИНЕТИКА ПОЛИМОРФНОГО ($\alpha \rightarrow \gamma$)-ПРЕВРАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 15 IX 1975)

Полиморфное ($\alpha \rightarrow \gamma$)-превращение железа обычно исследовалось при непрерывном нагреве (¹⁻³). Очевидно, однако, что для понимания механизма явления целесообразно изучение кинетики превращения в изотермических условиях.

Исследовались образцы переплавленного в вакууме карбонильного железа (содержание углерода $\sim 0,003\%$) длиной 20 и диаметром 3 мм. Образцы предварительно выдерживались 20 мин. при 1200°C и медленно охлаждались. В результате такой обработки получалось крупное (средний размер ~ 400 мкм) зерно исходной α -фазы. Изотермическая кинетика ($\alpha \rightarrow \gamma$)-превращения изучалась на dilatометре, предложенном в (⁴), при увеличении ~ 1000 . Образцы помещались в кварцевую трубку, в которой для увеличения скорости нагрева образца были сделаны прорезы. Нагрев осуществлялся в оловянной ванне со скоростью $\sim 50^\circ/\text{сек}$. Температура ванны измерялась калиброванной хромель-алюмелевой термопарой и поддерживалась с точностью $\pm 2^\circ$.

После dilatометрического исследования от образцов отрезались тонкие диски, которые после механического и электролитического утонения изучались на электронном микроскопе BS-540 при ускоряющем напряжении 120 кв. Из оставшейся части образцов изготавливались шлифы для металлографического исследования (травление в 2% растворе HNO_3 в спирте).

На рис. 1 приведена зависимость времени полного превращения от температуры исходных образцов и образцов, зерно которых было предварительно измельчено ($\alpha \rightarrow \gamma$)-превращением при 930°C . Видно, что примерно в 20-градусном интервале ($\alpha \rightarrow \gamma$)-превращение идет вяло, длительность процесса резко возрастает с приближением к температуре равновесия фаз (уменьшением перегрева ΔT). Аналогичное влияние оказывает и увеличение размера зерна.

Электронно-микроскопическое исследование показало, что образцы, претерпевшие ($\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$)-превращения, отличаются низкой плотностью дислокаций и состоят из крупных полиэдрических зерен. Это подтверждает сделанное в (⁵) заключение о том, что ($\alpha \rightarrow \gamma$)- и ($\gamma \rightarrow \alpha$)-превращения железа осуществляются «нормальным» (не мартенситным) механизмом.

На оптических микрофотографиях образцов, в которых ($\alpha \rightarrow \gamma$)-превращение прошло не полностью, у границ зерен часто наблюдаются сегменты (рис. 2). Каждый из них расположен внутри зерна, имея с ним одну общую границу. Очевидно, это участки, претерпевшие при нагреве ($\alpha \rightarrow \gamma$)- и при охлаждении до комнатной температуры ($\gamma \rightarrow \alpha$)-превращения. Таким образом, можно заключить, что зародыши γ -фазы образовались на границах

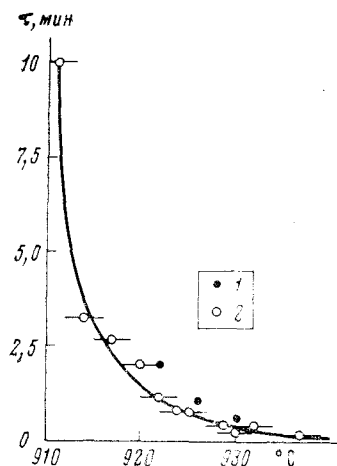


Рис. 1. Зависимость времени полного ($\alpha \rightarrow \gamma$)-превращения от температуры. 1 — исходные образцы, 2 — образцы, прошедшие предварительное ($\alpha \rightarrow \gamma$)-превращение при 930°C

ферритных зерен (этот вывод объясняет данные рис. 1: чем больше поверхность границ зерен, тем больше вероятность зарождения). Для случая зарождения на границе скорость этого процесса по ⁽⁶⁾ определяется как $I \approx 10^{24} \exp(\Delta G/kT)$, где ΔG — работа образования критического зародыша. Если, как и в ⁽⁷⁾, принять, что для полного ($\alpha \rightarrow \gamma$)-превращения достаточно одного зародыша на границу между двумя зернами, то скорость образования зародышей можно получить, разделив их количество (зная объем образца и средний размер зерна) на время полного превращения (напри-

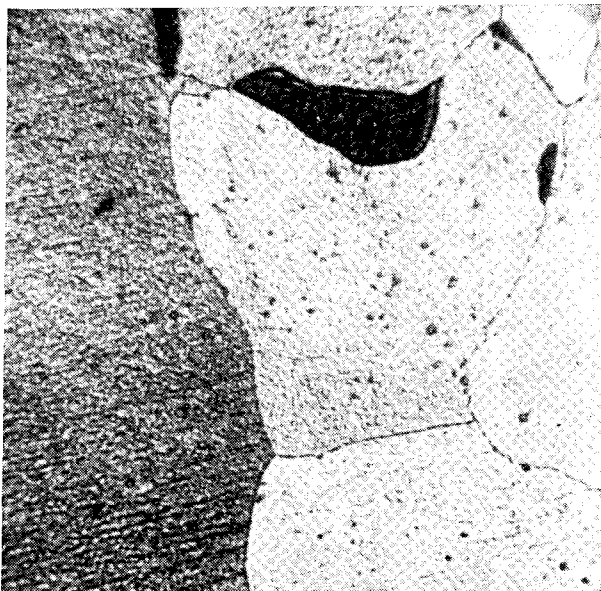


Рис. 2. Микрофотография образца железа, выдержанного 1 мин. при 914° С (200×)

мер, ~ 50 сек. при 925° С). Таким образом, получим $I \approx 4 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3} \cdot \text{сек}^{-1}$ и $\Delta G \approx 47 \text{ кТ}$. Для такого большого значения ΔG скорость образования зародышей будет заметной величиной только при значительных ΔT .

Скорость перемещения межфазной границы (скорость роста) можно записать в виде $Y = A \Delta T$ или, используя данные ⁽⁷⁾, $Y \approx 0,04 \Delta T \text{ см/сек}$. Поэтому для применяемых в работе образцов при $\Delta T \approx 1-20^\circ$ максимальное время перемещения границы будет порядка нескольких секунд, что значительно меньше экспериментальных данных (см. рис. 1). Следовательно, в указанном интервале температур процесс ($\alpha \rightarrow \gamma$)-превращения железа определяется зарождением и поэтому (большое значение ΔG) проходит медленно. Даже при 930° С он еще лимитируется малой величиной скорости зарождения. Это подтверждается несоответствием скорости роста при 930° С, вычисляемой из экспериментальных данных как $d/2t \approx 10^{-3} \text{ см/сек}$ (d — средний размер зерна, t — время полного превращения), величине $Y = 0,04 \Delta T = 0,8 \text{ см/сек}$.

Институт металловедения и физики металлов
Центрального научно-исследовательского
института черной металлургии им. И. П. Бардина
Москва

Поступило
29 VIII 1975

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ C. Wells, R. Ackley, F. Mehl, Trans. ASM, v. 24, 46 (1936). ² Т. П. Курагина, И. П. Кушнир, Э. И. Эстрин, ДАН, т. 178, 829 (1968). ³ W. Haworth, J. Gordon Paar, Trans. ASM, v. 58, 476 (1965). ⁴ Э. И. Эстрин, Зав. лаб., № 3, 368 (1966). ⁵ G. Speich, H. Warlimont, J. Iron Steel Inst., v. 206, 385 (1968). ⁶ J. Cahn, Acta Met., v. 4, 449 (1956). ⁷ G. Speich, A. Szirmai, Trans. AIME, v. 245, 1063 (1969).