

М. А. КРИШТАЛ

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА СКОРОСТЬ ДИФФУЗИИ УГЛЕРОДА В АУСТЕНИТЕ

(Представлено академиком И. П. Бардиным 13 VIII 1953)

Вопрос о влиянии кремния на скорость диффузии углерода в аустените представляет значительный теоретический и практический интерес, так как с ним связано правильное понимание и регулирование процессов графитизации чугунов и цементации кремнистых сталей. В специальной литературе по металлографии чугуна существует установившееся мнение о том, что присадки кремния уменьшают скорость диффузии углерода в аустените (¹, ²). Это мнение, однако, находится в противоречии с теоретическими взглядами о влиянии легирующих элементов на диффузионные процессы в железоуглеродистых сплавах. Согласно имеющимся данным, кремний не образует карбидов в сплавах Fe--C (³) и, растворяясь в аустените, образует с последним твердый раствор замещения. Атомы кремния, обладая иной валентностью и размерами по сравнению с атомами железа, при растворении существенно нарушают структуру решетки аустенита. Согласно данным (⁴), такие элементы должны ускорять диффузию углерода в аустените, т. е. установившееся мнение противоречит выводам работы (⁴). Поэтому было проведено исследование влияния присадок кремния на величину коэффициентов диффузии углерода в аустените.

Общепринятая методика определения коэффициентов диффузии углерода в аустените D_{C}^{Y} весьма громоздка и в основном состоит в следующем (⁵). Образцы, состоящие из сваренных встык двух крупных кусков стали, имеющих различное содержание углерода, отжигаются в печи при постоянной температуре в течение весьма длительного времени (около месяца). При этом происходит диффузия углерода из высокоуглеродистой в малоуглеродистую сталь. В дальнейшем распределение углерода в образцах определяется химическим анализом. Это распределение отвечает решению второго дифференциального уравнения Фика для полубесконечного тела. Пользуясь этим решением, по данным из полученной кривой распределения концентрации С определяют D_{C}^{Y} . Методика весьма громоздка и имеет значительные источники ошибок, связанные с химическим анализом образцов и длительной регулировкой температуры.

Поэтому для определения влияния кремния на D_{C}^{Y} была принята другая методика, предложенная нами ранее (⁶). D_{C}^{Y} рассчитывались из данных по зависимости толщины слоя аустенита, растущего при обезуглероживании чугуна в водороде, от времени при различных температурах.

Для некоторого момента времени распределение концентрации углерода в обезуглероженном образце чугуна схематически изображено линией $C_ч, \alpha, C_n, C_n$ на рис. 1, где приняты следующие обозначения: $C_ч$ — концентрация углерода в исходном чугуне; C_n — концентрация насыщения аустенита углеродом; C_n — концентрация углерода на поверхности образца; X — толщина слоя аустенита.

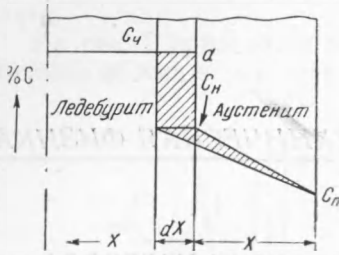


Рис. 1. Схема распределения углерода в образце чугуна при обезуглероживании

При толщине слоя аустенита, не превышающей нескольких десятых миллиметра, можно принять без большой погрешности, что концентрация углерода в нем меняется с расстоянием от поверхности образца по линейному закону. Через промежуток времени $d\tau$ слой аустенита вырастает на dX и при этом некоторое количество углерода, численно равное заштрихованной площади на рис. 1, удалится из образца. Если подсчитать это количество углерода и приравнять его количеству углерода, способного диффундировать к поверхности образца при перепаде концентрации $C_n - C_n$, можно определить, что

$$D_C^x = \frac{C_ч - \frac{C_n + C_n}{2}}{C_n - C_n} \frac{X^2}{2\tau}, \quad (1)$$

где τ — время обезуглероживания.

C_n , строго говоря, является величиной переменной, но при обезуглероживании в водороде в течение малых промежутков времени ее изменением можно пренебречь. Как правило, судя по микроструктуре, на поверхности образцов во все время опыта поддерживается эвтектоидная концентрация (C_n). Для пользования формулой (1) требуется определить зависимость X от τ при заданной температуре и C_n по диаграмме состояний. Величина X довольно легко и точно определяется на микрошлифе обезуглероженного образца под микроскопом. Длительность опыта, потребного для определения D_C^x составляет обычно 5—10 мин.

Для исследования использовались тонкие пластинки белого чугуна толщиной 0,5 мм, полученные жидкой прокаткой. Исследуемые чугуны выплавлялись в графитовых тиглях в печи Таммана на основе армо-железа и содержали 4% углерода и различное количество кремния, а именно, 0; 0,4; 0,6; 0,9 и 1,2% Si.

Результаты опытов по определению зависимости D_C^x от присадок кремния графически представлены на рис. 2. На графике представлены три изотермы D_C^x , отвечающие 880; 920 и 950°. Каждая точка на графике является средним из 9 замеров. При принятой длительности опыта (5—8 мин.) графитизация образцов, как показали микроисследования, не происходила. О правильности принятой методики определения D_C^x можно судить, сравнивая полученные нами величины D_C^x для бескремнистого чугуна с данными (5). D_C^x для температур

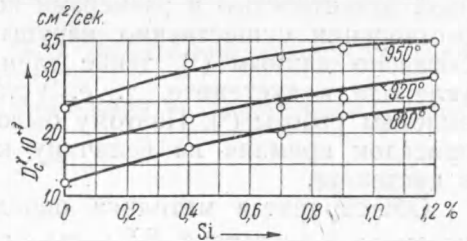


Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузии углерода в аустените от содержания кремния

880; 920 и 950°, по нашим измерениям, соответственно равны: $1,2 \cdot 10^{-7}$; $1,68 \cdot 10^{-7}$ и $2,39 \cdot 10^{-7}$ см²/сек; по данным ⁽⁵⁾ D_{C}^{Y} для тех же температур соответственно равны: $1,13 \cdot 10^{-7}$; $1,76 \cdot 10^{-7}$; $2,41 \cdot 10^{-7}$ см²/сек. Почти полное совпадение приведенных величин позволяет сделать вывод об удовлетворительности методики.

Все три кривые, представленные на рис. 2, показывают, что с повышением содержания кремния величина D_{C}^{Y} значительно увеличивается. Следует отметить, что при каждой концентрации кремния измерялся коэффициент диффузии в аустените эвтектоидной концентрации. Поскольку кремний уменьшает эвтектоидную концентрацию ⁽³⁾, а с увеличением содержания углерода в аустените D_{C}^{Y} возрастает, влияние присадок кремния на эту величину еще более существенно, чем то следует из рис. 2, так как кривые строились во всех случаях для эвтектоидной концентрации.

Таким образом, результаты, изложенные в данном сообщении, находятся в полном согласии с данными ⁽⁴⁾ и не подтверждают широко распространенного мнения о влиянии кремния на диффузию углерода в аустените.

Выражаю благодарность В. А. Юркову за ценную дискуссию.

Поступило
30 V 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. И. Вашенко, Модифицированный чугуны, 1946, стр. 79. ² К. П. Бунин, Г. И. Иванцов, Л. Н. Малиночка, Структура чугуна, 1952, стр. 126. ³ Э. Бейн, Влияние легирующих элементов на свойства стали, 1945. ⁴ Л. С. Уманский, Б. Н. Финкельштейн, М. Е. Блантер, Физические основы металловедения, 1949. ⁵ C. Wells, R. Mehl, Metals Technology, 7, Т. р. № 1180 (1940). ⁶ М. А. Кристал, Диссертация, Днепропетровск, 1951.