

УДК 669.14.018.8:620.193

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Я. В. ГРЕЧНЫЙ, В. И. ШАПОВАЛОВ, В. Т. РЫСКАЛЬ

ОБРАЗОВАНИЕ ТРЕЩИН В СТАЛИ И БЕЛОМ ЧУГУНЕ
ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ ОТЖИГЕ В АТМОСФЕРЕ ВОДОРОДА

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 15 III 1971)

Водород принадлежит к элементам, сильно влияющим на механические свойства стали (¹⁻⁴). Он снижает прочность и при высоких температурах и давлениях вызывает хрупкое разрушение. Однако роль содержания углерода, давления водорода и температуры при образовании трещин определена недостаточно.

В данной работе изучалось влияние температуры, парциального давления водорода на появление нарушений сплошности при изотермическом отжиге Fe—C-сплавов с разным содержанием углерода. Исследовали техническое железо, стали, содержащие 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6% углерода, доэвтектический белый чугун с 2,9% углерода и 0,9% кремния. Содержание никеля, хрома, марганца не превышало 0,2%.

Из стальных прутков и чугунных отливок вытачивали цилиндрические образцы высотой и диаметром 15 мм. На одном из торцов готовили металлографический шлиф. Затем образец помещали в автоклав, позволяющий производить отжиги при температурах до 1000°С и давлении до 200 ат. Скорость нагрева и охлаждения составляла 15° в мин. Температурный диапазон исследования составлял 100—1000°. Парциальное давление водорода варьировалось от 10 до 200 ат., а длительность отжигов от 5 мин. до 100 час. После выдержки образец разрезали перпендикулярно и параллельно оси цилиндра и подвергали макро- и микроисследованию.

В сплавах, содержащих углерода более 0,6%, после 20-минутного отжига при температурах выше A_{c1} и давлении водорода более 100 ат. появляются линзообразные подповерхностные трещины, деформирующие поверхность образца (рис. 1). С увеличением длительности отжига трещины появляются в более глубоких слоях образца, и они уже не параллельны поверхности (рис. 2а). В процессе обезуглероживания образца с поверхности полости, оставшиеся в обезуглероженном слое, постепенно зарастают и исчезают (рис. 2б). Это явление наиболее характерно для высокоуглеродистой стали и белого чугуна. Трещины окружены небольшой обезуглероженной областью и, например, в белом чугуне располагаются по осям дендритов аустенита. Трещины, контактирующие с обезуглероженной зоной образца, служат каналами для доставки углерода к поверхностным слоям. Это вызывает появление вокруг них обезуглероженных полей и неравномерное обезуглероживание.

Появление таких дефектов связано с особенностями диффузии водорода и углерода, а также с взаимодействием водорода с углеродом на поверхности раздела газ—металл:



Константа равновесия данной реакции выражается через равновесные парциальные fugitivности метана и водорода, а также активность углерода в железе и является функцией температуры (⁵):

$$K_p = f_{CH_4} / (a_C f_{H_2}^2), \quad (2)$$

$$\lg K_p = 2418 / T - 1,41, \quad (3)$$

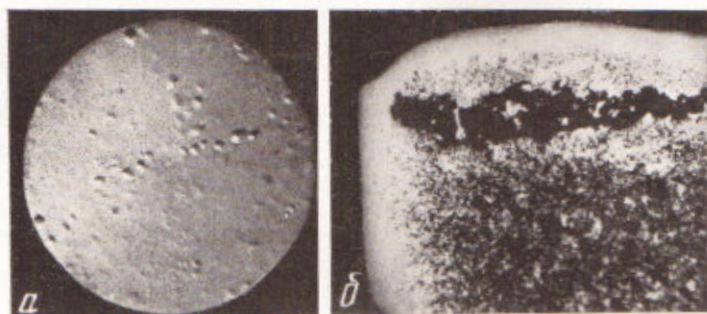


Рис. 1. *a* — деформация поверхности стали У8 вследствие образования трещин, *б* — вид подповерхностной трещины в поперечном сечении



Рис. 2. Белый чугун после отжига при температуре 950°C и $P_{\text{н.}} = 150$ ат в течение 24 час. (*a*) и 65 час. продольное сечение (*б*)

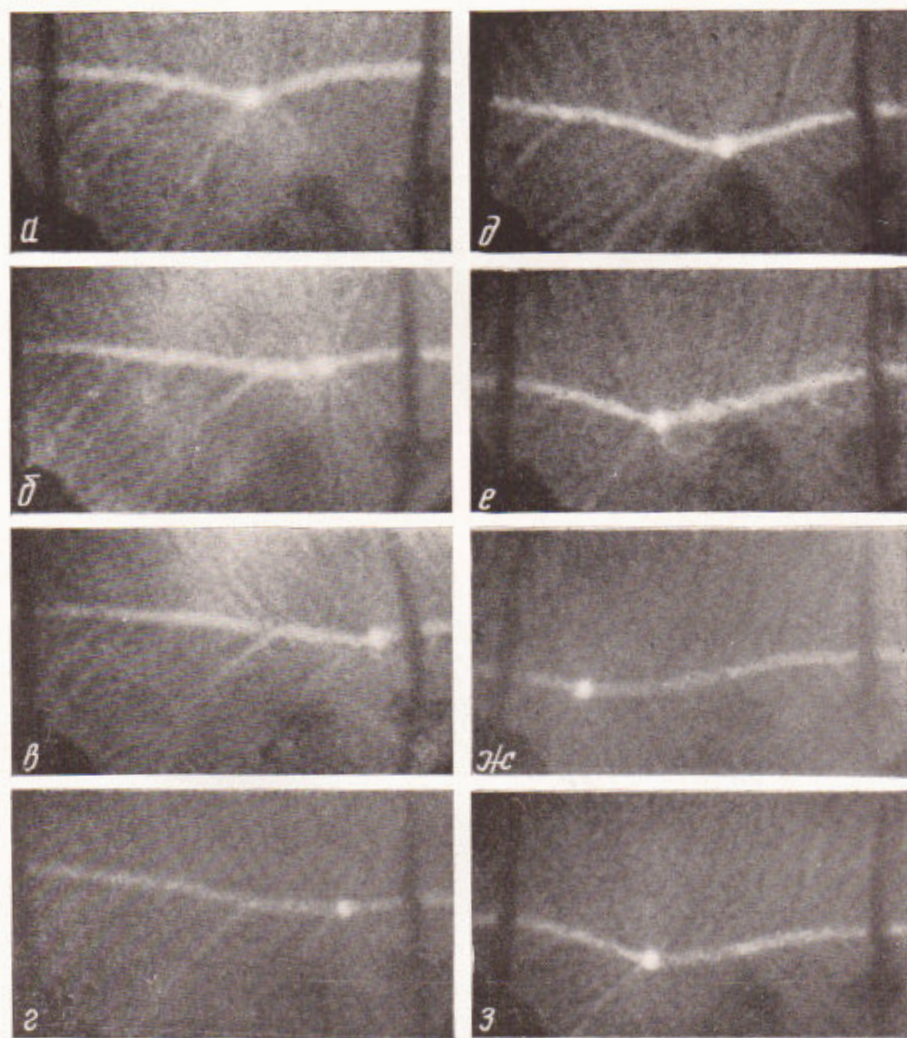


Рис. 4. Электронные микрофотографии процесса сползания при различных значениях поля H_z : а — $H_z = 0$; б — $0,3 H_K(\uparrow)$; в — $0,4 H_K(\uparrow)$; г — $0,25 H_K(\uparrow)$; д — $H_z = 0$; е — $0,15 H_K(\downarrow)$; ж — $0,30 H_K(\downarrow)$; з — $H_z = 0$

где f_{H_2} , f_{CH_4} — фугитивность водорода и метана соответственно, a_C — активность углерода в твердом α - или γ -растворе, T — абсолютная температура.

В процессе нагрева сплава в атмосфере водорода и последующей изотермической выдержки протекает диффузия водорода в металл, заведомо не насыщенный при такой температуре и давлении. На своем пути водород встречает и заполняет различного рода микропоры, всегда имеющиеся в промышленных сплавах. Согласно диффузионному условию равновесия, давление водорода в микропоре не должно превышать его парциального давления в газовой фазе автоклава. Наличие водорода в микропоре приводит к развитию реакции (1) на ее поверхности. Вследствие малого объема и большой удельной поверхности микропоры эта реакция приближается к равновесию, что позволяет рассчитать парциальное давление метана в микропоре из равенств (2) и (3):

$$P_{CH_4} = K_p a_C \gamma_{H_2}^2 P_{H_2}^2 / \gamma_{CH_4} \quad (4)$$

где γ_{CH_4} , γ_{H_2} — коэффициенты фугитивности метана и водорода соответственно.

Коэффициенты γ_{H_2} и γ_{CH_4} для данной температуры и давления находим из таблиц, зная критические параметры этих газов. Данные о термодинамической активности углерода в аустените берем из работы (6). На рис. 3 приведены результаты расчетов величин парциального давления метана в микропорах железоуглеродистых сплавов в функции парциального давления водорода и концентрации углерода в твердом растворе. Из расчетных данных и из результатов эксперимента вытекает, что возможны такие сочетания величин давления водорода, концентрации углерода и температуры, при которых давление метана в микропоре способно вызвать локальное разрушение сплава, приводящее к образованию трещин.

Найти предельное значение давления метана в pore расчетным путем не представляется возможным, так как в литературе нет данных о механических свойствах Fe — C сплавов при высоких температурах в атмосфере водорода. Однако эту величину можно приблизительно определить из сопоставления результатов металлографического исследования с расчетными данными (рис. 3). Так, в стали У6 трещины появляются при минимальном давлении 180 ат., в стали У8 дефекты начинают образовываться от $P = 100$ ат. Это соответствует интервалу давлений метана 1000—1300 ат. Процесс накопления метана в микропорах ограничивается доставкой водорода к pore с поверхности образца. Этим объясняется быстрое образование подповерхностных трещин и их начальная ориентация, а также распространение фронта трещин в глубь образца по мере увеличения длительности выдержки отжига. Заращение трещин объясняется понижением активности углерода вблизи них вследствие общего обезуглероживания образца. Термодинамическим стимулом заращения трещин является уменьшение свободной энергии сплава при сокращении межфазной поверхности.

Как следует из расчетных и экспериментальных данных, величины давления водорода, температуры и содержания углерода, при которых начинают появляться трещины, не строго фиксированы. Фиксированным может быть только один параметр из трех, определяемый абсолютными величинами двух других. Наиболее эффективным фактором, определяющим давление метана в pore, является парциальное давление водорода. Понижение температуры ниже точки A_{C1} приводит к скачкообразному уменьшению растворимости углерода. В этом случае наблюдается известное явление ин-

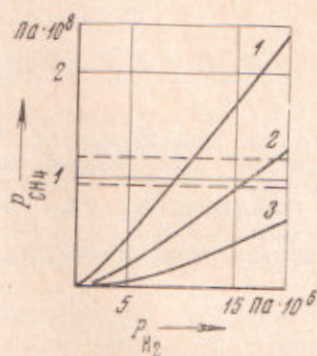


Рис. 3. Влияние давления водорода в γ -растворе железа на давление метана в микропорах при различном содержании C: 1 — 0,8%, 2 — 0,6%, 3 — 0,1%; $T = 900^\circ \text{C}$

теркристаллитной водородной коррозии (²), выражающейся в образовании микротрещин по границам зерен в обезуглероженном слое и на его границе.

Днепропетровский металлургический
институт

Поступило
9 III 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ П. С. Перминов, Коррозия и борьба с ней, 2, № 1, 3 (1936). ² Н. Н. Колгатин, Влияние водорода при высоких температурах и давлениях на механические свойства сталей, Автореф. диссертации, Л., 1960. ³ J. Stanley, Trans. ASM, 44, 1097 (1952). ⁴ F. K. Naumann, Erdoel-Zs. Bohr-und Fördertechnik, 73, № 1, 4 (1957). ⁵ О. Кубашевский, Э. Эванс, Термохимия в металлургии, ИЛ, 1955. ⁶ Л. С. Даркев, Р. В. Гурри, Физическая химия металлов, 1960. ⁷ Э. Гудремон, Специальные стали, М., 1960, стр. 510, 1509.