

О. Д. СМЯН, А. Т. КРУЖКОВ

**О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ ДИФфуЗИОННОГО ПОТОКА ГАЗОВ В МЕТАЛЛАХ**

(Представлено академиком Б. Е. Патонов 24 VI 1971)

В Институте электросварки им. Е. О. Патона АН УССР была предложена, разработана и внедрена новая технология сварки давлением, основанная на явлении самопроизвольной очистки металла окисных пленок, находящихся в замкнутой полости во время нагрева до высоких температур. При этом кислород из окисной пленки переходит в металл, растворяясь в нем. Давление газа в замкнутой полости уменьшается (до 1 мм рт.ст.) (1). Нами были изучены условия протекания процесса перехода кислорода из окисной пленки в металл и некоторые особенности диффузионного перемещения газа в металле.

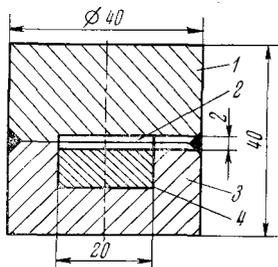


Рис. 1

Рис. 1. Схема вырезки образца: 1, 3 — свариваемые шайбы, 2 — замкнутая полость, 4 — место вырезки образца

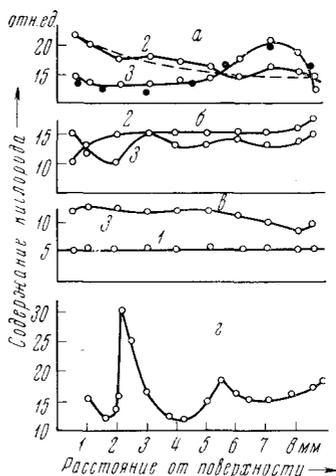


Рис. 2

Рис. 2. Диффузия кислорода в сталь Ст-3 (а — в) и сталь 1X18H10T (г) при различной обработке образцов: выдержка при 1200° С в течение а — 30 мин., б — 60 мин., в — 90 мин., г — 3 час. Состояние образцов: 1 — контрольные, 2 — предварительно окисленные при 600° в течение 20 мин., 3 — неокисленные. Светлыми кружками показаны данные, полученные в сентябре 1967 г., темными — в декабре 1968

Исследование выполнялось на установке для локального масс-спектрального анализа (2) методом термоэлектронной экстракции (3). Образцы из сталей Ст-3 и 1X18H10T\* подвергались термообработке в печи. Для сравнения был взят образец из стали 1X18H10T, нагревавшийся в герметичном пенале при тех же температурах.

Наблюдавшийся во время опытов массоперенос газов в металле с большой вероятностью можно считать диффузионным, так как содержание

\* Образцы для исследований предоставил к.т.н. Г. А. Бойко.

кислорода в исследованных металлах было на порядок ниже предела его растворимости.

Результаты экспериментов приведены на рис. 3 и 2. Их рассмотрение и анализ позволяет сделать вывод, что в данном случае процесс массопереноса газовых примесей в глубину металла осуществляется в виде своеобразных волн, движущихся от поверхности в глубину металла и затухающих по мере удаления от замкнутой полости. Одновременно при этом несколько выравнивается концентрация газовой примеси по глубине

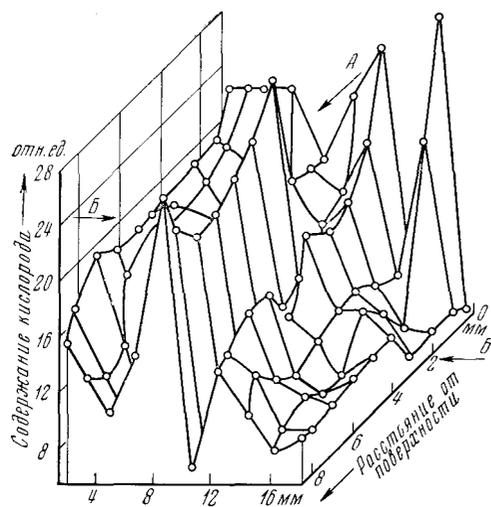


Рис. 3. Объемное распределение кислорода в стали Ст-3 при  $1200^{\circ}\text{C}$  и выдержке 30 мин. Стрелками показано направление движения диффузионных потоков в металле: А — из замкнутой полости, Б — из атмосферы печи

металла и даже происходит обескислороживание последнего (рис. 2в). Обнаруженное явление назвали волновой диффузией. Диффузионные волны заметны даже при сравнительно небольшом диффузионном потоке газа — примеси в металл из замкнутой полости, являющейся ограниченным источником малой мощности (рис. 1, 2). С увеличением интенсивности этого потока (например, при диффузии газов из атмосферы печи в металл) амплитуда диффузионных волн возрастает (рис. 3). Окисная пленка на поверхности металла изменяет кинетику массопереноса газов от поверхности в глубину металла: если в неокисленном образце через  $\tau = 30$  мин. после начала выдержки при  $1200^{\circ}\text{C}$  диффузионная волна кислорода прошла на глубину 7 мм, то при нагреве окисленных образцов через  $\tau = 30$  мин. после начала выдержки общий характер стационарного распределения кислорода по глубине металла еще сохраняется (пунктирная линия на рис. 2а), но появляются первые слабые волны диффузии и лишь через  $\tau = 60$  мин. после начала выдержки зона повышенной концентрации кислорода перемещается от поверхности в глубину металла на расстоянии 1,5–2 мм, что указывает на то, что окисная пленка растворяется полностью.

Об аномально высоких скоростях диффузии примесей внедрения в переходных металлах, особенно с о.ц.к.-решеткой, сообщалось в (4, 5). Однако экспериментально наблюдавшаяся в наших опытах максимальная величина скорости массопереноса кислорода (рис. 2а, 3) была еще выше. Через 15 месяцев авторы снова вернулись к исследованию образца из стали Ст-3. Была повторно снята топограмма распределения кислорода по сечению этого образца. Анализ распределения кислорода в плоскости, параллельной предыдущей, но лежащей на 3 мм ниже, полностью подтвердил полученную ранее топограмму распределения кислорода по глубине образца (рис. 2а, 3).

На амплитуду диффузионной волны оказывают влияние те же факторы, что и на скорость протекания диффузии, в частности, вещество среды, в которой протекает диффузия, и мощность источника диффузии: на образце стали 1X18H10T диффузионные волны выражены более четко, чем в стали Ст-3 (рис. 2г и 2а—в соответственно). Амплитуда диффузионных волн от более мощного источника выше (рис. 3). Характерно, что начальный участок кривой на рис. 2г до первого минимума весьма сходен с кривой распределения кислорода в стали, снятой методом послойного

анализа на сравнительно небольших глубинах (<sup>4</sup>). В более глубоких слоях металла кривая распределения кислорода, полученная нами, отличается существенно. (Волнообразный характер движения диффузионного потока газовых примесей в металле свойствен не только кислороду, но и другим газам.)

Диффузионные волны, движущиеся в глубину металла в разных направлениях, могут взаимодействовать (явление, подобное интерференции), образовывать узлы и пучности. При взаимодействии взаимно перпендикулярных диффузионных потоков, движущихся в твердом теле, оба потока сохраняют свою периодическую структуру (рис. 3).

Важно отметить, что во всех случаях речь идет лишь о концентрациях диффундирующего элемента, меньших предела его растворимости в исследуемом металле, иными словами, примесь образует с металлом твердый раствор внедрения, вторая фаза не выделяется. Этим обнаруженное явление существенно отличается от широко известного явления выпадения ритмических осадков в направлении диффузии (колец Лизеганга), которое наблюдается в некоторых гелях.

Можно предположить, что проникновение газов из газовой среды в металл происходит «порциями», представляющими некие ассоциаты или группы атомов газа; критические размеры ассоциата зависят от природы диффундирующего газа и вещества, в которое диффундирует этот газ; частота образования (и внедрения в металл) этих ассоциатов зависит от мощности диффузионного источника и температуры, при которой идет процесс. При соответствующих условиях процесс проникновения газа в металл может стать практически непрерывным.

Институт электросварки им. Б. Е. Патона  
Академии наук УССР  
Киев

Поступило  
18 VI 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. Е. Патон, Б. И. Медовар и др., ДАН, 159, № 1, 72 (1964). <sup>2</sup> О. Д. Смилян, Зав. лаб., № 5, 692 (1967). <sup>3</sup> В. И. Лакомский, Н. И. Выхрестюк, Автоматическая сварка, № 9, 41 (1961). <sup>4</sup> Д. Бэшерс, В сборн. Диффузия в металлах с объемноцентрированной кубической решеткой, М., 1969, стр. 159. <sup>5</sup> П. Шьюмон, Диффузия в твердых телах, М., 1966.