

Среди трех основных газов (кислород, азот и водород) наиболее сильное воздействие на свойства стали и сплавов оказывает водород, и его взаимодействие с металлами наиболее сложно.

Растворимость водорода в жидком железе значительно выше, чем в твердом железе при температуре плавления. Растворимость водорода также скачкообразно меняется при структурных превращениях в твердом металле.

При прочих равных условиях содержание водорода в железе определяется давлением водорода в газовой фазе: $[H] = K_H \cdot \sqrt{P_{H_2}}$.

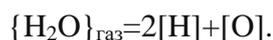
По данным [1]: $\lg K_H = -1670/T - 1,68$.

Содержащиеся в стали примеси оказывают влияние на растворимость водорода. Углерод, кремний, никель, хром, фосфор и алюминий уменьшают, а титан, марганец, цирконий и ниобий увеличивают растворимость водорода в стали, однако это влияние невелико. На растворимость водорода в железе существенное влияние оказывает кислород. Произведение концентраций этих элементов в жидком металле составляет постоянную величину при данных условиях:

$$[H] \times [O] \approx \text{const.}$$

Известно, что главным источником водорода в сталеплавильном процессе является не газообразный водород, а водяные пары, содержащиеся в печной атмосфере и растворенные в шлаках. Поглощение водорода жидким металлом из водяных паров зависит от их парциального давления и от активности кислорода в ванне.

Общая реакция имеет вид:



По данным Карни, Чипмена и Гранта при 1600 °С содержание водорода при равновесии будет составлять [2]:

$$[H] = 1,35 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{P_{H_2O}}{a_O}}$$

где P_{H_2O} – парциальное давление водяных паров;

a_O – активность кислорода, пропорциональная его концентрации.

Следовательно, концентрация водорода в металле уменьшается с увеличением содержания кислорода.

Растворенный водород удаляется из жидкой стали посредством формирования двухатомного газообразного водорода: $[H] \rightarrow \frac{1}{2} H_2 (g)$

Таблица 1 – Равновесное содержание водорода при различных давлениях

Параметр	Значение			
p_{H_2} , атм	1,0	0,1	0,01	0,001
[H], ppm	25,6	8,1	2,6	0,8

Современные вакууматоры могут достигать низкого давления (0,001 атм.), поэтому при оптимальных рабочих условиях можно производить сталь с уровнем водорода менее 1 ppm.

Допустимый предел содержания водорода в заготовках зависит, как известно, от их толщины и марки стали. Поэтому в каждом конкретном случае выбирается технология обработки, позволяющая надежно удалить водород для исключения дефектов.

На концентрацию водорода в металле могут оказывать заметное влияние условия разливки. В работе [3] установлено, что при открытой разливке содержание водорода увеличивается в среднем на 1 ppm. Поэтому большое значение имеют мероприятия по защите металла от контакта с атмосферой.

Система корректирования времени выдержки заготовок под колпаками на основе контроля водорода в жидком металле позволяет надежно избегать брака по флокенам и, в то же время, минимизировать энергозатраты и время выдержки.

При повышенном содержании водорода в жидком металле длительность охлаждения заготовок под колпаками увеличивают.

Вакуумирование в сочетании с замедленным охлаждением необходимо для производства многих марок специальных сталей с целью предотвращения дефектов, причиной которых является водород.

Для более эффективного удаления водорода из металла марок с суженной α -областью (коэффициент диффузии водорода имеет наибольшее значение в α -Fe) установки замедленного охлаждения на Wakayama Works были модернизированы для реверсивного нагрева. Сущность этой технологии заключается в следующем: после остывания металл снова нагревается, но не выше точки A_3 и затем медленно остывает. Циклы реверсивного нагрева могут повторяться несколько раз.

Эффект от модернизации установок замедленного охлаждения, полученный на стали с 9 % Ni [3]: относительное удаление водорода при замедленном охлаждении, без реверсивного нагрева – 28%; с реверсивным нагревом – 80%.

Для снижения содержания водорода в металле и ослабления его вредного влияния на качество применяют следующие методы: организация кипения ванны при окислении углерода; продувка инертными газами; электромагнитное перемешивание; обработка металла вакуумом; добавка гидридообразующих элементов; выдержка закристаллизовавшегося металла при повышенных температурах.

Список использованных источников

1. Кудрин В.А. Внепечная обработка чугуна и стали, М.: Металлургия, 1992. – 336 с.
2. Газы в литом металле. [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://metal-archive.ru/gazy-v-litom-metalle/277-vodorod-v-zhidkoy-stali.html>.
3. Nashiwa H., Nagahata T. Recent developments of D-H operation at Wakayama Works./ Proceedings of the fifth international conference on vacuum metallurgy and electroslag remelting processes. Munich, October 11-15, 1976. p. 45-51.