

Показано, что дополнительное введение в кристаллизатор алюминиевой проволоки повышает содержание алюминия в стали от 0,010–0,011 до 0,026–0,033%, что способствует повышению однородности структуры, уменьшению среднего размера исходного зерна в 2 раза.

Повышение содержания алюминия в стали ШХ-15 от 0,010 до 0,033% увеличивает прочность при изгибе на 280, 160, 140 Н/мм² в горячекатаном, отожженном и термоупрочненном состояниях соответственно, в 2 раза пластичность в отожженном состоянии.

Повышение содержания алюминия в стали ШХ-15 увеличивает работу разрушения от 7,3 до 10,2; от 15,7 до 24,6; от 2,8 до 3,4 и вязкость разрушения K_{Ic} от 84 до 102, от 97 до 107, от 28 до 37 МПа $\sqrt{м}$ в горячекатаном, отожженном и термоупрочненном состояниях соответственно.

Повышение содержания алюминия в стали ШХ-15 увеличивает водородостойкость в горячекатаном состоянии и сопротивление замедленному разрушению после закалки и отпуска, что является следствием возрастания сопротивления зарождению и распространению трещины.

Более высокий комплекс механических свойств, трещиностойкости и сопротивления замедленному разрушению стали ШХ-15 с повышенным содержанием алюминия является следствием измельчения структуры стали, снижения уровня остаточных микронапряжений и концентрации вредных примесей на границах исходных аустенитных зерен.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ВОДОРОДА НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЮ ЖЕЛЕЗА И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Ливанова Н.О., Филиппов В.Г., Шабалов И.П.

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва, Россия,
igs12@yandex.ru

Механизм деформации и разрушения железа и стали в присутствии примесей внедрения зависит от их взаимодействия с дефектами кристаллического строения. Повышение содержания примесей внедрения (углерода, азота) в железе и стали увеличивает сопротивление пластической деформации, повышая склонность к хрупкому разрушению. Имеющиеся экспериментальные результаты по влиянию водорода на сопротивление деформации железа и стали нельзя объяснить эффектом торможения дислокаций за счет образования на них примесных атмосфер. Есть основания ожидать, что водород играет существенно отличную роль по сравнению с другими примесями в сопротивлении пластической деформации и хрупкому разрушению. Представляет интерес исследования влияние водорода на сопротивление деформации железа с применением методов, чувствительных к количеству примесей в металле, например, при испытаниях со скачкообразным изменением скорости деформации [1, 2].

На рис. 1 представлены диаграммы растяжения технического железа с различным содержанием водорода, покрытых медью для предотвращения десорбции водорода. В исходном состоянии (без водорода) железо имеет зуб и площадку текучести (кривая 1). При введении в железо 12,6 ppm водорода (кривая 2) зуб текучести «сглаживается» и площадка текучести уменьшается, кроме того, происходит уменьшение предела текучести. При наличии в образцах железа 28,1 ppm водорода (кривая 3) зуб текучести исчезает (рис. 2). Кривая 4 представляет диаграмму растяжения образцов железа с 45,1 ppm водорода, на которой площадка текучести едва намечается. При вылеживании (старении) образцов после наводороживания, площадка текучести увеличивается.

Таким образом, с увеличением содержания водорода в железе изменяется вид кривых деформации. По мере увеличения его содержания исчезает зуб и площадка текучести. Пластичность при этом уменьшается.



Рис. 1. Кривые деформации железа с различным содержанием водорода: 1 — без водорода; 2 — 12,6 ppm; 3 — 28,1 ppm; 4 — 45,1 ppm; 5 — 60 ppm

Из полученных результатов следует, что основное изменение механических свойств железа наблюдается при содержании водорода примерно до 10–12 ppm. При этом сопротивление пластической деформации уменьшается при введении водорода до 10–12 ppm, а при больших содержаниях водорода практически остается постоянным. Пластичность железа также уменьшается при введении водорода. Поскольку анализ остаточного водорода показал, что при всех временах наводороживания его количество остается на уровне металлургического, можно полагать, что снижение сопротивления пластической деформации под действием водорода не связано с эффектами водорода в порах, а является следствием изменения подвижности дислокаций.

Исследование влияния скорости деформации $\dot{\epsilon}$ на пластичность железа показало, что с увеличением $\dot{\epsilon}$ пластичность увеличивается. Причем, чем больше содержание водорода, тем ниже пластичность по сравнению с исходным уровнем.

Увеличение пластичности при увеличении $\dot{\epsilon}$ свидетельствует о склонности наводороженного железа к водородной хрупкости. Чем выше содержание водорода в железе, тем больше склонность к водородной хрупкости. Снижение пластичности при увеличении содержания водорода в железе при постоянной $\dot{\epsilon}$ может быть связано с возникновением поверхностных дефектов (микротрещин), которые наблюдаются на поверхности образца, особенно при больших содержаниях водорода.

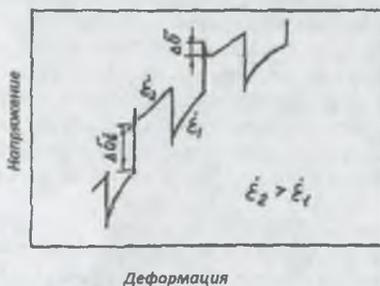


Рис. 2. Схема испытаний с переменной скоростью деформации.

Испытания с переменной скоростью деформации проводили по схеме, представленной на рис. 2. Повышение скорости нагружения приводит к увеличению сопротивления деформации $\Delta \sigma$. Кроме того, после увеличения скорости наблюдается «зуб текучести» $\Delta \sigma$, свидетельствующий о протекании переходных процессов изменения дислокационной структуры. Появление «зуба» объясняют перераспределением дислокаций, приводящим к падению сопротивления деформации, а также скачкообразным увеличением их плотности вследствие размножения, в результате которого уменьшается скорость движения отдельных дислокаций и, следовательно, сопротивление их движению.

На рис. 3 представлена зависимость $\Delta\sigma_s$ от степени деформации для образцов с различным содержанием водорода. Видно, что с ростом степени деформации $\Delta\sigma_s$ уменьшается, но для ненаводороживаемого железа это уменьшение незначительно. С увеличением количества водорода $\Delta\sigma_s$ имеет все большее значение.

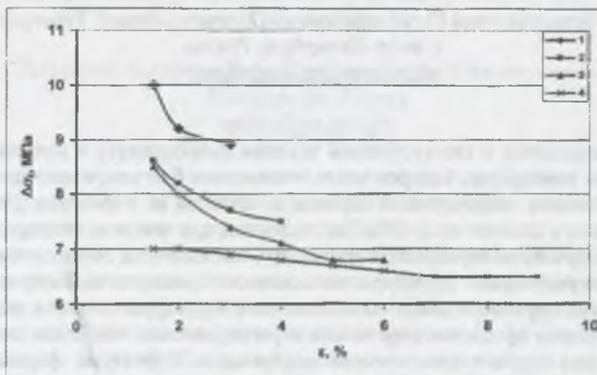


Рис. 3. Зависимость прироста напряжения при скачкообразном изменении скорости деформации от степени деформации для железа с различным содержанием водорода:
1 – 60 ppm; 2 – 45,1 ppm; 3 – 28,1 ppm; 4 – без водорода

Известно, что высота и форма скачка при изменении скорости деформации зависит от концентрации примесей внедрения в твердом растворе. Уменьшение величины «зуба текучести» и увеличение при понижении концентрации примесей в твердом растворе может быть связано с уменьшением плотности подвижных дислокаций в результате увеличения скорости их движения.

В отличие от углерода уменьшение величины «зуба текучести» и увеличение $\Delta\sigma_s$ наблюдается не при уменьшении концентрации водорода, а при ее увеличении. В связи с этим можно полагать, что уменьшение величины «зуба текучести» и увеличение $\Delta\sigma_s$ при наводороживании железа отражает понижение плотности подвижных дислокаций при скачкообразном увеличении скорости деформации.

Можно полагать, что это может быть следствием снижения сопротивления движению отдельных дислокаций. При этом, трудно было бы объяснить охрупчивание железа, вызываемое водородом. Другой причиной повышения подвижности дислокаций в результате насыщения железа водородом может быть повышение уровня локальных микронапряжений, вызванное водородом, приводящее к повышению эффективного внутреннего напряжения, действующего на дислокации в процессе увеличения скорости деформации.

Таким образом, водород понижает сопротивление деформации и разрушению железа и низкоуглеродистых сталей. Испытания со скачкообразным изменением скорости деформации показали, что водород приводит к повышению плотности дислокаций при резком увеличении скорости деформации, по-видимому, в результате возникновения внутренних микронапряжений.

Список литературы

1. Колачев Б.А. Водородная хрупкость металлов М., «Металлургия» 1985, 217 с.
2. Грибанова Л.И., Филиппов Г.А., Сарак В.И. О взаимодействии водорода с дефектами, возникающими в процессе микропластической деформации // ДАН СССР, 1981, 260, №3, с. 612-615