

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА ЗАМЕДЛЕННОЕ РАЗРУШЕНИЕ МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Эфрос Б.М.*, Березовская В.В.⁽¹⁾, Шишкова Н.В., Эфрос Н.Б., Доладзе Л.В.

Донецкий физико-технический институт НАН Украины,
ул. Р.Люксембург, 72, Донецк, 83114 Украина

⁽¹⁾Уральский государственный технический университет, ул. Мира, 19, 620002
г. Екатеринбург

*Fax: 380 (62) 3377608; e-mail: efros@hpress.fti.ac.donetsk.ua

Введение

При эксплуатации изделий из мартенситностареющих сталей (МСС) обнаруживается склонность их к замедленному разрушению (ЗР). Склонность к ЗР резко возрастает при переходе от испытаний в вакууме к испытаниям на воздухе или в водных средах [1, 2]. Поэтому одним из критериев, определение которого необходимо для оценки конструктивной прочности МСС, является сопротивление ЗР.

В данной работе исследовали МСС на склонность к ЗР в различных коррозионных средах и влияние параметров термопластической обработки на коррозионно-механические свойства и характер разрушения исследованных сталей.

Результаты и обсуждение

Объектом исследования служили стали 03Н18М4Т, 03Х11Н10М2Т и 03Н18К3М3Т промышленной выплавки с известным химическим составом.

Бескобальтовые стали подвергали двойной закалке после выдержки 30 мин от температур 920 и 820°C – в обоих случаях в воде. Деформацию образцов стали 03Х11Н10М2Т проводили в условиях высоких гидростатических давлений (ВГД) методом гидроэкструзии (ГЭ) со степенями обжатия $\varepsilon=0-30\%$. Склонность сталей к ЗР оценивали на воздухе, в дистиллированной воде и в 3,5% - ном водном растворе хлорида натрия.

Для испытаний на ЗР и ударную вязкость использовали призматические образцы толщиной 10 мм типа Шарпи, сечение которых дополнительно было ослаблено усталостной трещиной. Испытания на ЗР проводили по схеме чистого изгиба с постоянной нагрузкой по методу Брауна [3]. Степень разрушения оценивали по временным зависимостям номинального напряжения в сечении образца и рассчитанным по средней скорости распространения трещины, которую определяли согласно методике [4]. Изломы образцов после испытаний изучались методом растровой

электронной микроскопии на приборе "SUPERPROBE JCXA-733".

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наибольшую склонность к разрушению исследованная сталь проявляет при испытании в воде. Рассчитанное относительное падение прочности ($v\%$) при выдержке под нагрузкой $(\sigma_k - \sigma_\tau)100\%/\sigma_k$, где σ_k – среднее значение кратковременной прочности; σ_τ – среднее значение прочности при действии под нагрузкой в течение времени τ , для длительности испытаний 500 ч составляет 16, 79 и 92% для воздуха, раствора хлорида натрия и воды соответственно.

Фрактографический анализ субкритического роста (СРТ) ЗР в исследованных сталях со структурой пакетного мартенсита показал, что при кратковременных и длительных испытаниях на воздухе наблюдается ямочное разрушение. При этом необходимо отметить, что при выдержке под нагрузкой (т.е. ЗР) разрушению предшествует значительная локальная деформация.

На фрактограммах образцов, испытанных в растворе хлорида натрия ($\tau=70$ ч.), наблюдаются как участки вязкого разрушения, так и участки квазискола, размер которых, как правило, соответствует размерам пакета.

При испытании стали в воде наблюдается изменение механизма разрушения. В этом случае трещина распространяется в основном по границам исходного аустенитного зерна. Данное явление обычно связывают с «динамическим ударом» в процессе роста мартенситных кристаллов при закалке о границу аустенитного зерна, приводящего к возникновению высоких локальных микро-напряжений [1,2]. Существует и другая точка зрения [2,4], согласно которой склонность к ЗР обусловлена действием водорода, присутствующего в стали. Диффундируя на границы аустенитных зерен, атомы водорода ослабляют межзеренное сцепление и облегчают образование и развитие интеркристаллитных трещин.

Микро- и макрофрактография изломов исследованных сталей показала, что развитие

трещины ЗР в воде происходит в основном по границам исходных аустенитных зерен. Испытанные на кратковременную прочность ($\tau = 0$) закаленные образцы имеют в изломе вязкое бороздчатое разрушение. В изломе образцов, состаренных при 400°C (сталь 03Н18М4Т) и 350°C (сталь 03Н18К3М3Т) и испытанных на кратковременную прочность, бороздки отсутствуют, что может свидетельствовать об изменении механизма пластической деформации.

На ранних стадиях СРТ ($\tau > 0$) в стали 03Н18М4Т наблюдается чередование участков вязкого бороздчатого разрушения вдоль направления движения трещины (аналогично разрушению на воздухе при испытании на ударную вязкость (КСТ) и кратковременную прочность), и участков хрупкого межзеренного разрушения. По мере увеличения выдержки под нагрузкой ($\tau \gg 0$) доля вязкой составляющей в зоне СРТ уменьшается. Повышение температуры старения действует аналогично увеличению выдержки под нагрузкой (оба фактора сопровождаются повышением уровня напряжений в стали): смешанное дискретное разрушение сменяется непрерывным хрупким. Граница того перехода находится в интервале $T_{\text{стар}} \approx 400 - 450^\circ\text{C}$.

Механические испытания показали, что характер разрушения образцов данных МСС при динамических испытаниях (КСТ) изменяется с ростом $T_{\text{стар}}$ так же, как и при испытании на кратковременную прочность. Это подтверждается так же и одинаковой зависимостью значений σ_K и КСТ от температуры старения. Поскольку эти результаты получены на воздухе, а наибольшая склонность сталей к ЗР проявляется в этих же интервалах $T_{\text{стар}}$, то можно предположить, что процессы, ответственные за охрупчивание данных сталей на воздухе обуславливают и их разрушение в воде.

Влияние химического состава, а также причины повышенной чувствительности МСС к ЗР в интервале температур старения изучались в работах [2,4,5]. Полученные результаты свидетельствуют, что наибольшее влияние на ЗР оказывает титан; кобальт влияет в меньшей степени; молибден практически не влияет. Считается, что причинами ЗР в состаренных МСС могут быть высокие внутренние напряжения, возникающие в результате образования интерметаллидов типа Ni_3Ti , или перераспределение внутреннего (металлического) водорода, происходящего под влиянием процессов выделения упрочняющей фазы при старении.

Согласно результатам данной работы и анализа литературных данных [2,4,5], изменение условий среды, а именно, переход от воздуха к водному раствору хлорида и к дистиллированной воде так же, как и изменение условий нагружения (увеличение длительности нагружения) и наличие структурных превращений в МСС в низкотемпературной области старения, приводят к повышению уровня локальных внутренних микронапряжений, которые облегчают движение дислокаций в процессе зарождения микротрещин, накопление которых в зоне предразрушения приводит к развитию магистральной трещины.

Необходимо отметить, что одной из основных причин склонности к ЗР МСС при испытаниях на воздухе может быть «внешний» диффузионно-подвижный водород, образующийся при взаимодействии адсорбированной атмосферной влаги с химическими элементами, входящими в состав стали [6].

Выводы

На основании сравнения температурной и деформационной зависимости относительного падения прочности, средней скорости распространения трещины, а также значений порогового напряжения следует отметить, что наибольшей склонностью к ЗР обладают стали после старения при температурах $\approx 400-430^\circ\text{C}$ и после гидроэкструзии со степенями обжатия $\varepsilon \approx 5$ и $\approx 20\%$. Различие в поведении исследованных МСС на стадии СРТ проявляется в механизме релаксации напряжений в вершине трещины в «наводороженном» состоянии. Обусловленная водородом деградация конструктивной прочности МСС составляет комплексную проблему материаловедения, химии и механики металлических материалов.

Литература

1. М.Д. Перкас, МиТОМ №5,23(1985)
2. И.С. Тойдорова, В.В. Забильский, В.И. Сарак, ФММ №7, 5 (1991)
3. У.Браун, Дж. Сроули, Испытания высокопрочных металлических материалов на вязкость разрушения при плоской деформации, Мир, Москва (1972)
4. В.В. Березовская, Н.В. Звигинцев, А.А. Круглов, ФММ, №5,88 (1992)
5. О.Н. Романив, Г.Н. Никифорчин, А.З. Студент, ФЧММ, №5,3 (1983)
6. В.В. Забильский, В.В. Величко, С.Г. Ильина, ФММ 80, №6, 108 (1995).