

УДК 669.1.017

Е. Д. Мерсон, В. А. Полуянов

НИИ «Прогрессивные технологии», ТГУ, г. Тольятти

MersonED@gmail.com

Научный руководитель – проф., д-р физ.-мат. наук *Д. Л. Мерсон*

СТАДИЙНОСТЬ РОСТА ТРЕЩИН ТИПА «РЫБИЙ ГЛАЗ» ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, НАСЫЩЕННОЙ ВОДОРОДОМ

АННОТАЦИЯ

В работе исследована стадийность роста дефектов «рыбий глаз» в низкоуглеродистой стали S235JR, насыщенной водородом. Показано, что формирование этих дефектов происходит на стадиях деформационного упрочнения и локализованной деформации под влиянием диффузионно-подвижного водорода. Установлено, что на стадии шейкообразования интенсивность роста дефектов «рыбий глаз» возрастает.

Ключевые слова: водород, деформация, дефекты.

ABSTRACT

Staging of the “fisheye” defects growth in the low-carbon steel S235JR was investigated in the present study. It was shown that “fisheye” defects formation occurs during strain hardening and necking stages due to mobile hydrogen dissolved in the steel. Higher growth rate of the “fisheye” defect is found during the necking stage.

Key words: hydrogen, deformation, defects.

ВВЕДЕНИЕ

Дефекты типа «рыбий глаз» являются одной из распространенных форм проявления водородной хрупкости (ВХ) сталей [1–3]. На поверхности разрушения данные дефекты наблюдаются в виде светлых участков округлой или эллипсовидной формы, имеющих морфологию квази-скола [2; 3]. Образование таких участков происходит за счет роста радиальных трещин в направлении перпендикулярном к действующей нагрузке. При этом очаг разрушения, как правило, находится в центре «рыбьего глаза» вблизи неметаллических включений. Считается, что зарождение и рост трещин контролируется водородом, для которого неметаллические включения служат ловушками [2; 3]. Интересной особенностью является также то, что дефекты «рыбий глаз» возникают только при напряжениях выше предела текучести [1; 3]. Тем не менее, подробно стадийность роста трещин данного типа не изучена. В связи с этим, целью настоящей работы являлось: установить стадии формирования дефектов «рыбий глаз» в

наводороженной низкоуглеродистой стали, в процессе ее одноосного растяжения.

МЕТОДИКА

Плоские образцы для испытаний на одноосное растяжение с размером рабочей части 4×15 мм были вырезаны электроискровым методом вдоль направления прокатки из горячекатаного листа низкоуглеродистой стали марки S235JR толщиной 2,5 мм. Образцы подвергались шлифовке и затем вакуумному отжигу при 950 °С в течение 30 мин с последующим охлаждением с печью. Электролитическое насыщение образцов водородом проводили при плотности тока 600 мА/см² в течение 1 часа. Стадийность роста дефектов «рыбий глаз» изучали следующим образом. Образец насыщали водородом, затем нагружали его до заданной деформации ϵ_k , после чего разгружали и проводили дегазацию. После того, как водород был удален из стали, образец повторно нагружали до разрушения. Поскольку развитие дефектов «рыбий глаз» контролируется водородом, то после его удаления из стали их рост прекращался. Следовательно, в изломах наблюдали дефекты, стадия развития которых соответствовала деформации в момент остановки при первом нагружении. Дегазацию образцов проводили в газоанализаторе Galileo G8 путем нагрева образца до 200 °С в потоке газа носителя азота и выдержки при данной температуре в течение 20 минут. Такой режим дегазации позволяет полностью удалить из образца диффузионно-подвижный водород. Растяжение проводили на универсальной испытательной машине H50KT, Tinius Olsen при скорости деформирования 0,5 мм/мин. Исследование изломов проводили в сканирующем электронном микроскопе Sigma, Zeiss.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате наводороживания удлинение образцов снижалось почти в три раза – с 46,4 до 16,4 % (рис. 1). Излом в этом случае на 50 % состоял из перекрывающихся дефектов «рыбий глаз». При этом, если сразу же после наводороживания водород удаляли из образца, то удлинение восстанавливалось до 38,2 %, а дефектов «рыбий глаз» в изломе не наблюдали. Следовательно, образование дефектов «рыбий глаз» обусловлено наличием в стали диффузионно-подвижного водорода и происходит непосредственно в процессе деформации. Тем не менее, на периферии излома наблюдалось множество вязких трещин, ориентированных вдоль оси растяжения образца. Образование данных трещин, очевидно, происходило в процессе наводороживания, вследствие высокого давления молекулярного водорода.

Дефекты «рыбий глаз» отсутствовали также в изломах образцов нагруженных до конца квазиупругой области ($\epsilon_k = 0,5$ %) и до завершения площадки текучести ($\epsilon_k = 1,2$ %). Однако уже при $\epsilon_k = 5$ % по краям излома

наблюдались дефекты «рыбий глаз» небольшого размера. Дальнейшая деформация образца приводила к увеличению размера и количества данных дефектов. Вместе с тем после начала шейкообразования ($\epsilon_k = 13\%$) интенсивность роста «рыбьих глаз» существенно возрастала (рис. 1).

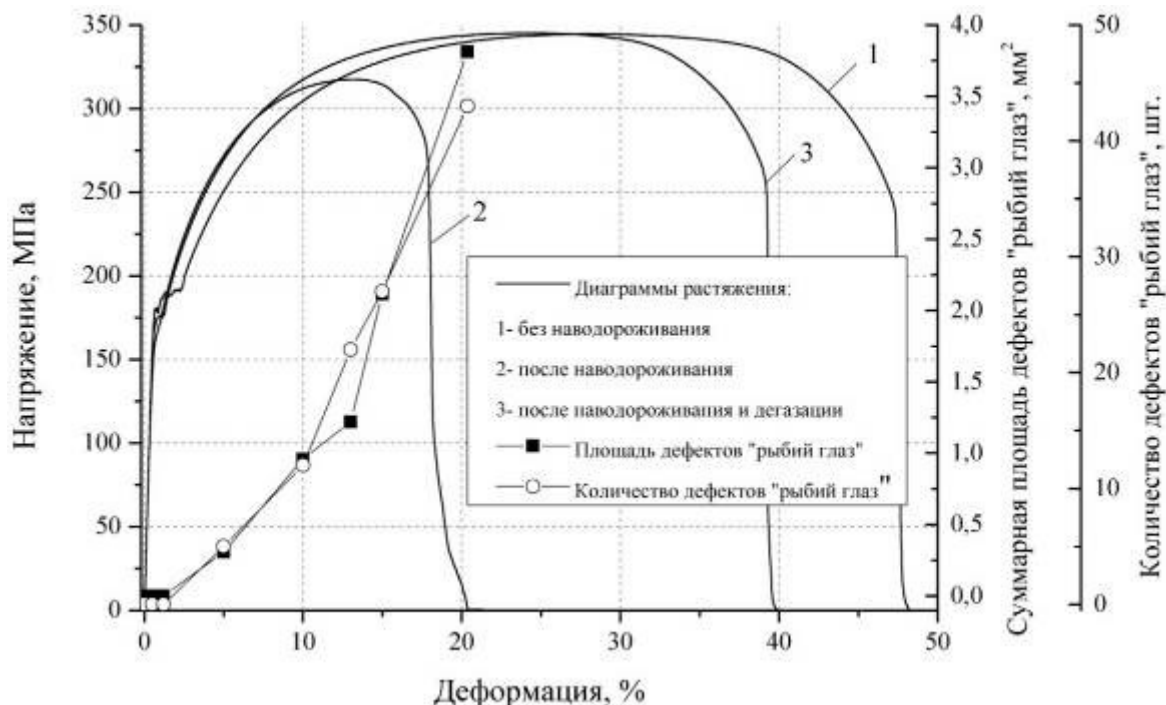


Рис. 1. Кривые накопления повреждений в наводороженном образце и диаграммы растяжения для образцов до наводороживания – (1), после наводороживания – (2), и после наводороживания и дегазации при 200 °С – (3)

ВЫВОДЫ

1. Формирование дефектов «рыбий глаз» в низкоуглеродистой стали при ее одноосном растяжении начинается на стадии деформационного упрочнения и контролируется диффузионно-подвижным водородом.

2. По мере пластической деформации количество и размер дефектов «рыбий глаз» увеличивается от периферии к центру образца.

3. На стадии деформационного упрочнения интенсивность развития дефектов «рыбий глаз» относительно невысока и постоянна и значительно возрастает при начале стадии шейкообразования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-02-31052.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vibrans G. Fisheyes in rolled steel exposed to hydrogen at room temperature // Metall. Trans. A. – 1977. – Vol. 8. – № 8. – P. 1318–1320.
2. Borruto A., Borruto T. M. R., Spada A. Hydrogen-steel interaction: hydrogen embrittlement in pipes for power former plant effluents // Int. J. Hydrogen Energy. – 1999. – Vol. 24. – № 7. – P. 651–659.

3. Merson E., Vinogradov A., Merson D. L. Application of acoustic emission method for investigation of hydrogen embrittlement mechanism in the low-carbon steel // J. Alloys Compd. –2015. – Vol. 645. – P. S460–S463.