

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВЯЗКОСТИ ИЗЛОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ КОНФОКАЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРУЮЩЕГО МИКРОСКОПА

Данилов В.А., Мягих П.Н., Мерсон Е.Д., Мерсон Д.Л.

НИИ прогрессивных технологий, Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия
V.Dani1ov@yandex.ru

Введение

Фрактография (анализ изломов материалов) – это один из важнейших научно-исследовательских методов. Исследование поверхности разрушения позволяет получить ценную информацию о поведении металла под действием критических нагрузок, выявить характер, а иногда и причину разрушения. Таким образом, извлечение и анализ полезной информации, которую несет в себе поверхность разрушения является весьма актуальной проблемой. Тем не менее, в большинстве случаев фрактографический анализ носит лишь качественный описательный характер, что негативно сказывается на объективности получаемых результатов. Например, на сегодняшний день отсутствует регламентируемый параметр, который бы мог количественно описать вязкость излома и при этом мог бы быть с достаточной точностью измерен при помощи современного оборудования. Перспективным методом для решения обозначенной проблемы является конфокальная лазерная сканирующая микроскопия (КЛСМ) [1,2]. Данный метод обладает рядом преимуществ, такими как: возможность получения точных трёхмерных моделей поверхности разрушения, высокую разрешающую способность и достаточное рабочее расстояние для работы с развитым рельефом, как в случае с изломами. Получаемые с помощью КЛСМ топографические данные можно использовать для описания рельефа поверхности различными количественными параметрами, например, такими как шероховатость или характеристическая площадь поверхности R_s .

Целью настоящей работы являлось установить количественный топографический параметр, полученный с помощью КЛСМ, который наиболее точно отражает вязкость поверхности разрушения низкоуглеродистой стали.

Методика исследования

Для испытания на одноосное растяжение использовались круглые образцы с кольцевыми надрезами длиной 150 мм и диаметром 5 мм стали марки 10, подвергнутые вакуумному отжигу при температуре 950 °С в течении 30 мин. Механические испытания проводили с использованием универсальной сервогидравлической испытательной машины Instron 8872, снабжённой климатической камерой. Испытания на растяжение проводились при постоянной скорости перемещения 100 мм/мин, в широком диапазоне температур от 200 до -196 °С.

Фрактографические исследования проводили при помощи КЛСМ LEXT OLS 4000 (ф. Olympus) с использованием объектива «MPlanApoN20xLEXT» на увеличении 400х и с шагом сканирования по оси Z 0,8 мкм.

Для количественного анализа поверхности разрушения были использованы массивы данных, полученные при панорамной съёмки всего излома обеих половин каждого образца, состоящие из 16 кадров (4х4). Перед измерениями изображения обрабатывались для устранения шумов, с помощью стандартного цифрового фильтра, после чего выделялась область непосредственно самого излома, а далее проводились измерения [3].

При помощи встроенного программного обеспечения были рассчитаны параметры шероховатости согласно ISO 25178-2014: S_a – среднеарифметическое

значение высоты, Sq – среднеквадратичное отклонения высоты, Sz – максимальная высота поверхности, а также параметр Rs – характеристическая площадь поверхности, численно равная отношению площади рельефа поверхности к площади проекции этой поверхности на плоскость снимка.

Результаты

Стандартный качественный фрактографический анализ при помощи СЭМ показал, что с понижением температуры испытания в интервале от 100 до -100 °C характер изломов образцов меняется с вязкого на хрупкий. Причем уже при -20 °C почти вся поверхность разрушения имеет рельеф скола, рис. 1 б, тогда как при 20 °C излом практически полностью вязкий (ямочный), рис. 1а. Фактически наблюдается вязко-хрупкий переход, в типичном для данной стали интервале температур, который обычно определяют по падению ударной вязкости [4].

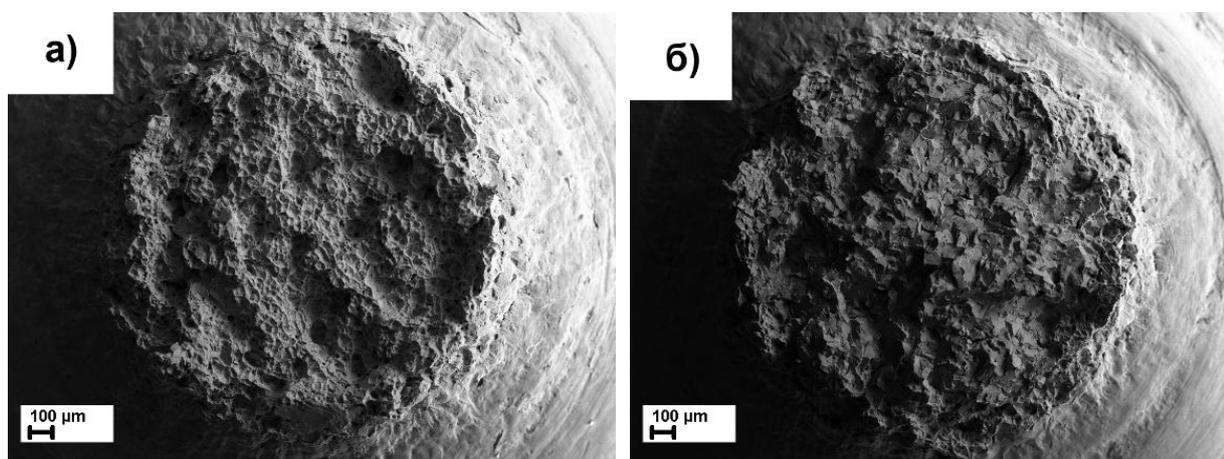


Рисунок 1 – СЭМ снимки полной поверхности разрушения образцов, испытанных при 20 – а) и -20 – б) °C

Как и ожидалось, выявить вязко-хрупкий переход по изменению механических свойств не представляется возможным. Как видно на рис. 2а относительное удлинение имеет максимум при 20 °C и монотонно снижается с уменьшением и увеличением температуры испытания от максимума. Предел прочности при растяжении увеличивается с понижением температуры по степенной зависимости.

В одной из предыдущих наших работ [3] было показано, что параметр Rs для полностью хрупкого и вязкого изломов отличается на единицу. Как следует из рис. 2а результаты настоящего исследования подтверждают полученные ранее данные, а также свидетельствуют о том, что данный параметр хорошо отражает изменение вязкости излома во всем интервале температур испытания и позволяет определить температуру вязко-хрупкого перехода. В то же время параметры шероховатости (рис 1б-г) не справляются с этой задачей. Как видно на рис. 2б и в параметры Sa и Sq практически не зависят от температуры испытания, а Sz монотонно снижается с увеличением температуры испытания. Следовательно, использование указанных характеристик шероховатости для оценки вязкости излома не целесообразно.

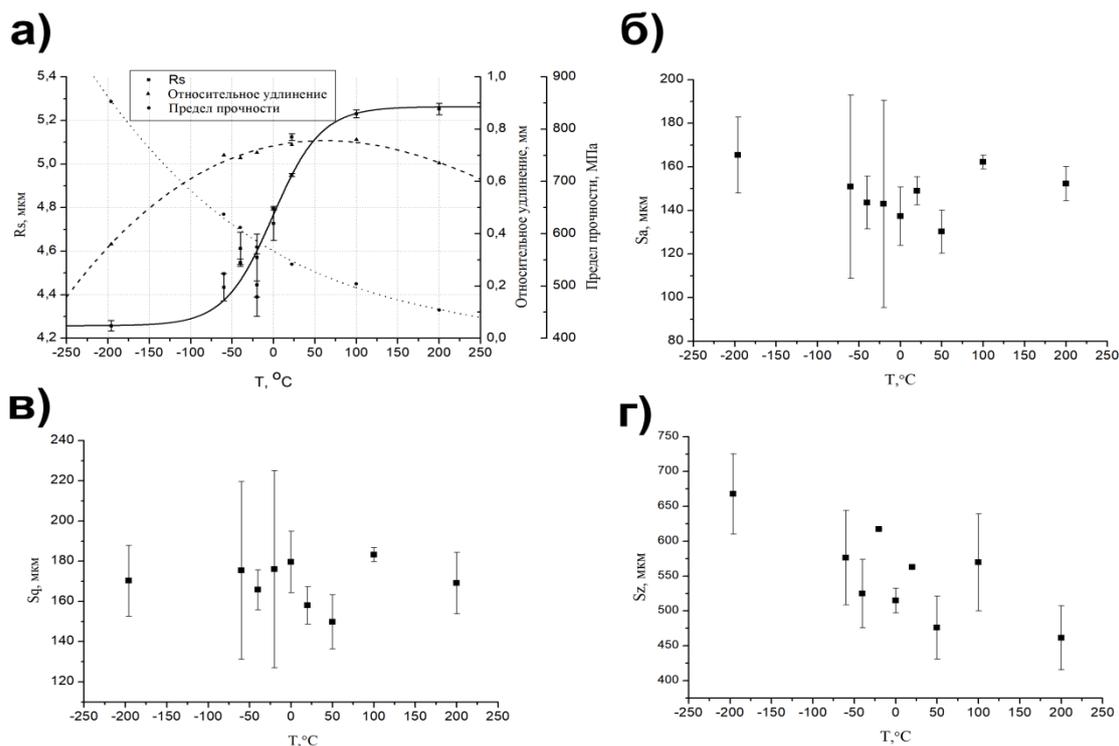


Рисунок 2 – влияние температуры испытания на растяжение на характеристическую площадь поверхности Rs, относительное удлинение и предел прочности (а) и параметры шероховатости Sa (б), Sq (в), Sz (г).

Заключение

В ходе настоящего исследования показано, что КЛСМ является перспективным инструментом количественного фрактографического анализа.

Установлено, что параметры шероховатости рельефа поверхности разрушения (Sa, Sz, Sq) слабо зависят от температуры испытания и не отражают изменение вязкости излома.

Показано, что изменение величины характеристической площади поверхности разрушения Rs качественно совпадает с изменением вязкости излома в интервале температур вязко-хрупкого перехода отожженной стали 10. Данный параметр может быть легко найден при использовании топографических данных, полученных с помощью КЛСМ, и использован для количественного описания вязкости поверхности разрушения и определения температуры вязко-хрупкого перехода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-32-00367)

Список использованных источников

1. Merson E. et al. Quantitative characterization of cleavage and hydrogen-assisted quasi-cleavage fracture surfaces with the use of confocal laser scanning microscopy //Materials Science and Engineering: A. – 2016. – Т. 665. – С. 35-46.

2. Merson E. et al. Confocal laser scanning microscopy: The technique for quantitative fractographic analysis //Engineering Fracture Mechanics. – 2017. – Т. 183. – С. 147-158.

3. Мерсон Е. Д., Данилов В. А., Мерсон Д. Л. Количественный анализ изломов при помощи конфокальной лазерной сканирующей микроскопии //Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – №. 4 (34).

4. Клевцов Г. В. и др. Механизм ударного разрушения стали 10 с субмикроструктурной структурой в интервале вязко-хрупкого перехода //Деформация и разрушение материалов. – 2011. – №. 8. – С. 9-13.