

КОНФОКАЛЬНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СКАНИРУЮЩАЯ МИКРОСКОПИЯ – НОВЫЙ МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ФРАКТОГРАФИИ

Мерсон Е.Д.¹, Мерсон Д.Л.¹, Кудря А.В.², Траченко В.А.²

¹ Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия

² НИТУ "МИСИС", г. Москва, Россия

D.Merson@tltsu.ru

Метод конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (КЛСМ), изначально разрабатывавшийся для исследования объектов биологии и медицины, в последнее время находит все большее применение для решения материаловедческих задач. Например, с его помощью можно оценивать объем пор на поверхности, получать точное объемное изображение очагов коррозии, дорожек трения, поверхностей изломов и др. [1,2].

В настоящей работе на примере охрупченной различными способами малоуглеродистой стали марки S235JR продемонстрированы возможности метода КЛСМ для фрактографических исследований.

В основе КЛСМ лежит конфокальная оптическая схема, при которой с помощью специальной диафрагмы отсекаются внефокусные лучи света. Путем послойного сканирования поверхности объекта лазерным лучом для каждой точки поверхности определяют координаты в трехмерном пространстве, что позволяет воссоздавать очень точное 3-D изображение поверхностей высокой кривизны с развитым рельефом.

В одном случае образцы стали в нормальном (отожженном) состоянии подвергали одноосному растяжению при температуре жидкого азота (-196°C), тем самым, моделировали низкотемпературное охрупчивание. В другом случае, деформирование тех же, но предварительно наводороженных, образцов осуществляли при комнатной температуре, т.е. реализовывали водородное охрупчивание.

Исследование изломов разрушенных образцов проводили с помощью КЛСМ микроскопа Lext OLS4000, Olympus, имеющего разрешение в горизонтальной плоскости 110 нм, а в вертикальной – 10 нм.

На рис. 1 приведены диаграммы испытания образцов исследуемой стали на растяжение. По сравнению с металлом в исходном состоянии, наводороживание приводит к снижению напряжения начала текучести и общей пластичности без существенного изменения прочности. При температуре испытания -196°C резко снижается пластичность и возрастает прочность.

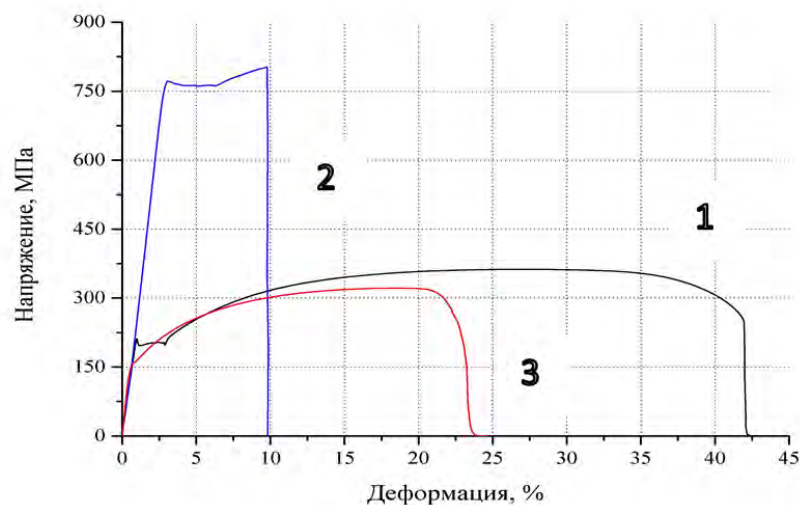


Рис. 1. Диаграммы растяжения образцов: 1 – в исходном состоянии (после вакуумного отжига), 2 – при -196°C и 3 – после наводороживания

Излом исходного образца, испытанного при температуре жидкого азота, имел полностью хрупкий характер (рис. 2). Разрушение происходило по механизму чистого транскристаллитного скола, о чем свидетельствуют типичные фасетки скола, образованные вдоль кубических кристаллографических плоскостей отдельных зерен (рис. 2б). Такой тип излома является хорошо известной особенностью разрушения ОЦК металлов при низкотемпературном охрупчивании, когда разрушение происходит отрывом вдоль кристаллографических плоскостей $\{100\}$, т.е. плоскостей, расположенных под углом 90° друг к другу в пределах одного зерна. С помощью метода КЛСМ было показано, что, действительно, многие зерна разрушались с образованием двух или более фасеток скола, ориентированных друг к другу под углами близкими к 90° (рис. 2в,г).

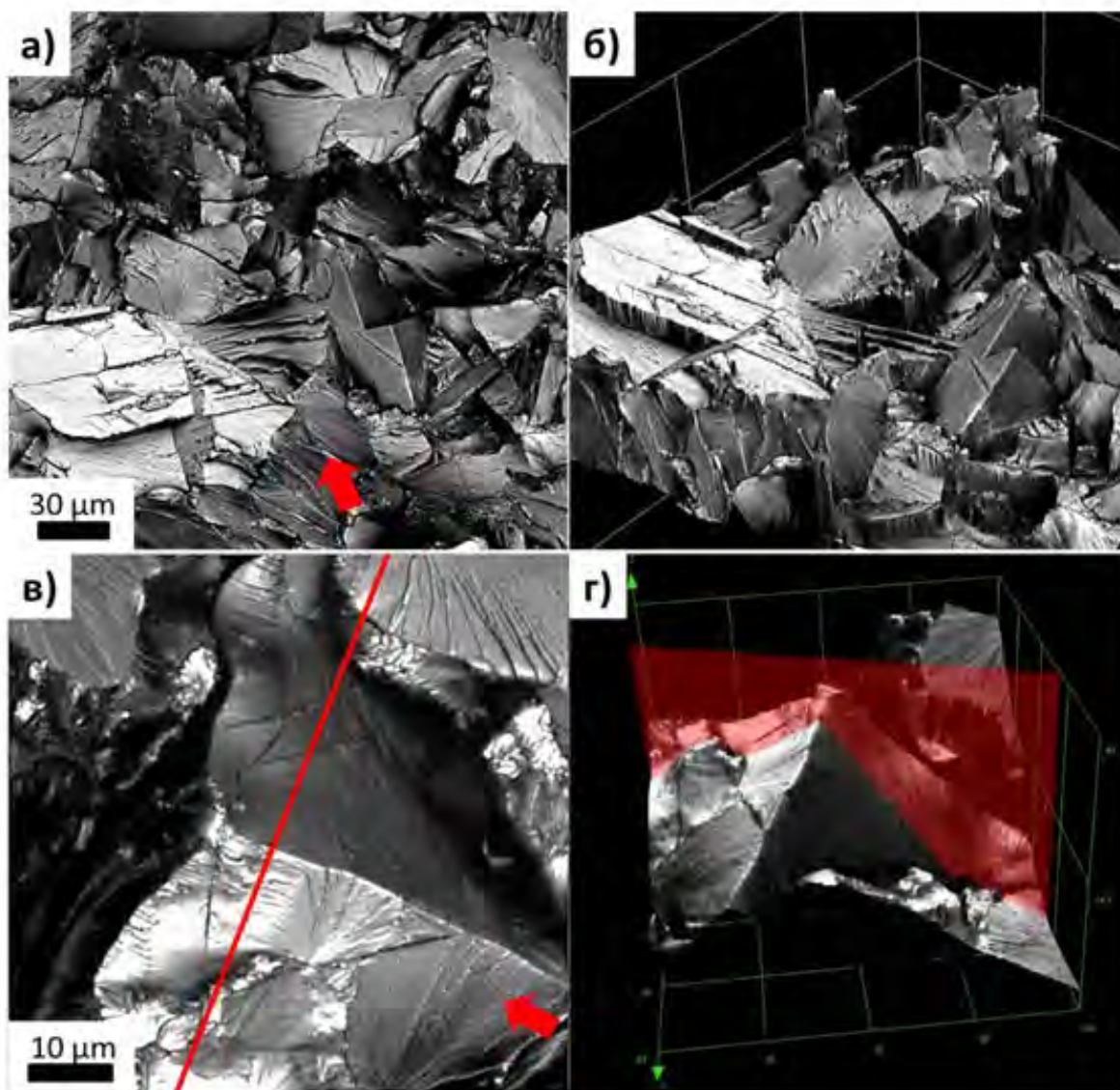


Рис.2. Микрорельеф поверхности разрушения образца, испытанного при -196°C : а) – 2D вид сверху, б) – 3D вид в изометрии; в) – 2D вид сверху с указанием линии профиля; г) – 3D вид в изометрии с указанием секущей плоскости профиля (положение наблюдателя указано стрелкой)

Излом образца, насыщенного водородом, имел смешанный характер. Часть поверхности излома сохраняла вязкий ямочный рельеф. Другая, большая по площади область, была занята участками хрупкого разрушения эллипсообразной формы. В литературе такие дефекты известны под названием «рыбий глаз». Рельеф поверхности сколоподобного разрушения, соответствующий дефектам «рыбий глаз» принципиально отличался от рельефа поверхности чистого скола в образце, испытанном при -196°C . Поверхность разрушения

была гораздо менее угловатой по причине минимальной разориентировки фасеток между соседними зернами (рис. 3). При этом «макрорельеф» таких дефектов был различным: одни из них имели форму неглубокой чаши с плоским дном, а другие были более сложной формы, например, в виде поверхности сколоподобного разрушения, закрученной винтом (рис. 3а).

С помощью специального программного обеспечения были измерены углы разориентировки между смежными фасетками в изломах разрушенных образцов. Для наводороженных образцов под фасеткой понималась поверхность сколоподобного разрушения в пределах одного зерна феррита. Согласно этим результатам, средний угол разориентировки смежных фасеток в изломе образца, испытанного при $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 2,5 раза выше, чем для наводороженного образца. Аналогичный вывод можно сделать и по распределениям углов разориентировки фасеток, представленных на рисунке 4.

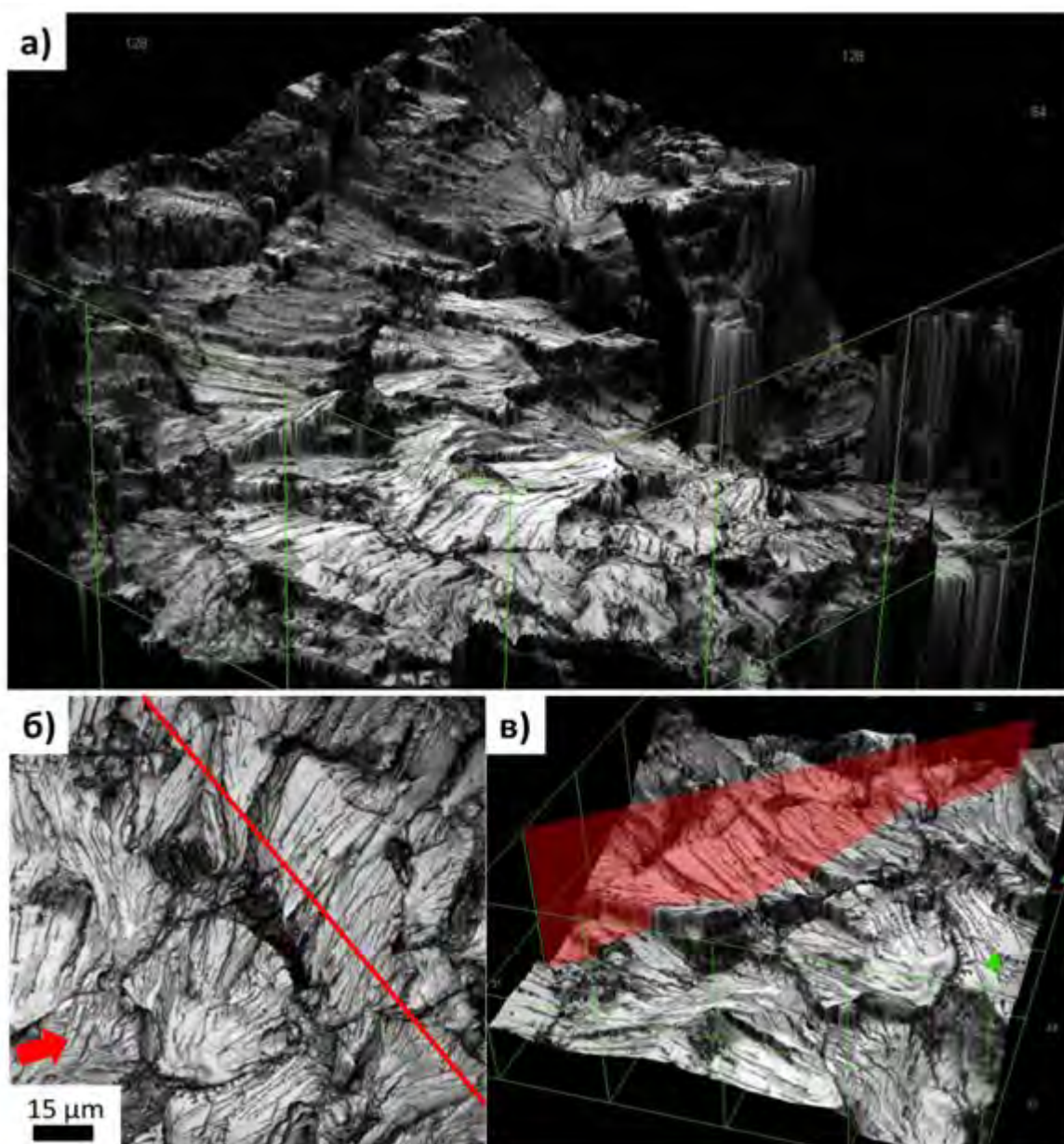


Рис. 3. Дефект «рыбий глаз» с закрученной по спирали поверхностью: а) – 3D вид в изометрии, увеличение 1000×. Фрагмент поверхности сколоподобного разрушения: б) – 2D вид сверху; в) – 3D вид в изометрии с указанием секущей плоскости профиля, увеличение 2100×.

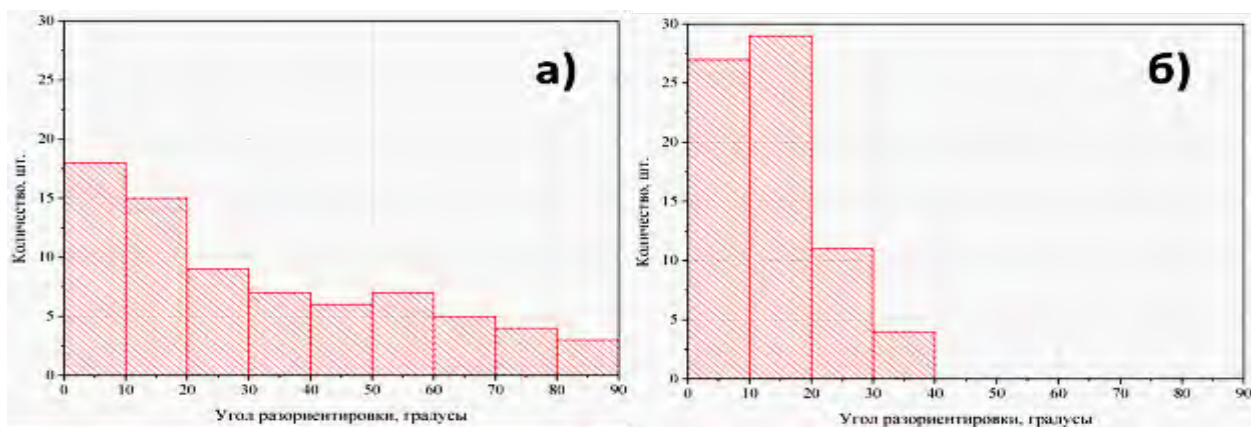


Рис. 4. Распределения углов разориентировки фасеток в изломах: а) – образца, разрушенного при $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, б) – образца, насыщенного водородом

Выводы

1. С помощью метода КЛСМ можно по 3D изображениям изломов с высокой точностью определять характеристики рельефа: размеры и углы разориентировки фасеток.
2. Предложена схема формирования рельефа фасеток сколоподобного разрушения, в основе которой лежит предположение о том, что разрушение осуществляется за счет образования трещин вдоль полос скольжения, вследствие локализации деформации в них под действием водорода.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-02-31052 и ФЦП, Соглашение RFMEFI57714X0145

Список литературы

1. Novis D.B., Heuer A.H. The use of laser scanning confocal microscopy (LSCM) in materials science. // J. Microsc. 2010. Vol. 240, № 3. P. 173–180.
2. Tata B.V.R., Raj B. Confocal laser scanning microscopy: Applications in material science and technology // Bull. Mater. Sci. Springer India, 1998. Vol. 21, № 4. P. 263–278.

СТРУКТУРА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В АНГАРМОНИЧЕСКИХ ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

Слущер А.И., Бетехтин В.И., Кадомцев А.Г., Гиляров В.Л.

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия,
Alexander.Slutsker@mail.ioffe.ru*

Основной формой внутренней атомной динамики в твердых телах является колебательная динамика. Присущие атомам волновые свойства вызывают квантование этой динамики: дискретность уровней колебательной энергии с запрещением состояния покоя (неподвижности) атомов. Наинизший разрешенный уровень энергии носит название уровня нулевой энергии (или – нулевого уровня). Тепловое состояние характеризуется заселенностью уровней энергии, лежащих выше нулевого уровня. Тепловой энергией твердого тела и называют суммарную энергию всех заселенных уровней атомов, лежащих выше нулевого. По природе же колебания на нулевом и на тепловых уровнях единообразны [1, 2], но имеется отличие: энергию атома с теплового уровня можно «снять» и перевести тем самым возбуждение атома либо на более низкий тепловой уровень, либо - на нулевой, а