

Применение количественной фрактографии для установления причин разрушения деталей

Позняк И.Г.

Белорусский национальный технический университет

При проведении металловедческой экспертизы зачастую возникает необходимость установления причины излома металлических деталей. При этом содержание используемых в настоящее время практических разработок ограничено анализом изломов, в основном усталостного характера. В большинстве случаев это связано с тем, что фрактографический анализ носит лишь качественный описательный характер морфологических особенностей поверхности изломов. В существующих на сегодняшний день стандартных методиках отсутствует какие-либо регламентированные количественные параметры, которые описывали бы степень вязкости поверхности разрушения и одновременно могли быть легко измерены с помощью современного оборудования и информационных систем. Поэтому корректность определения соответствия рельефа поверхности излома хрупкому, вязкому или усталостному разрушению полностью зависит от опыта и навыков исследователя. Одним из недостатков традиционных методов, применяемых в данной области, является двумерность получаемых изображений, т.е. это фактически фотографии, сделанные при некотором увеличении [1]. Этот факт в значительной степени затрудняет количественную оценку поверхности разрушения. В этой связи возникает необходимость развития методов количественного исследования трехмерного представления изломов.

В течение последних лет актуальным направлением фрактографических исследований является разработка автоматизированных методов количественного описания рельефа поверхности разрушения материалов [2–3]. Задача объективного количественного описания рельефа излома может сводиться к корректному измерению его рельефа и получению массива данных, содержащих трехмерные координаты каждой точки его поверхности. В частности, требуется оценить рельеф поверхности разрушения, поскольку существует корреляция между энергией, затраченной на образование новой поверхности, и площадью данной поверхности. Так, например, хрупкий излом образуется в результате очень малой макропластической деформации. Хрупкому внутризеренному разрушению, сопровождающемуся малой затратой энергии, свойственно кристаллическое строение изломов. Поверхность изломов, как правило, светло-серая. Чем крупнее величина зерна в изломе, тем более хрупкий характер имеет разрушение. При хрупком разрушении может наблюдаться шевронный излом – система ступенек, образующих рисунок типа елочки, вершины которых направлены к зоне начала разрушения. Хрупкий излом является наиболее опасным, так как происходит с большой скоростью.

Вязкому разрушению, сопровождающемуся большой затратой энергии, свойственно волокнистое строение изломов. Образование вязких изломов сопровождается значительной пластической деформацией и поверхность имеет ямочный рельеф. Вследствие пластической деформации поверхностных кристаллов отсутствуют фасетки и кристаллический блеск. Поверхность волокнистого излома обычно матовая, темно-серого цвета и волокна ориентированы в направлении развития магистральной трещины. Части разрушенной детали не совмещаются, что является, в отличие от хрупкого, критерием вязкого излома.

Для получения трехмерных моделей разрушенных стальных деталей использовался промышленный 3D-сканер метрологической точности Artec Space Spider. В основе его функционирования лежит фотограмметрический метод, который используется в картографии и геодезии. Применительно к сканерам это означает, что излучатель и камера на корпусе разнесены, и луч посылается под определенным углом относительно камеры. Для ускорения процесса очень часто используется структурированная подсветка, когда источник излучения наносит на объект не точку, а сетку. Камера, расположенная немного в стороне от такого проектора, воспринимает отражение этой сетки и по обнаруженным искажениям вычисляет расстояние до

каждой точки в поле зрения. Большой набор точек, полученный с использованием 3D-сканирования и позволяющий создавать 3D-представления о структуре (конструкции) геометрического объекта, называется *облаком точек*. Облако точек поверхности излома в PLY-файле модели представлено в виде набора вершин (*vertex*). Эти данные лежат в основе построения модели поверхности в виде триангуляционной сетки, аппроксимирующей реальную поверхность излома с точностью, которая зависит от разрешающей способности 3D-сканера.

Оценка информативности макрогеометрических параметров поверхности вязкого и хрупкого изломов основана на следующем факте – площадь поверхности вязкого излома более развита, нежели хрупкого. Макрогеометрические параметры поверхности вязкого и хрупкого изломов, представляют собой основные статистические характеристики распределения (гистограммы) углов отклонения нормалей к треугольникам 3D-модели излома относительно средней нормали. В качестве более простого параметра можно использовать отношение площадей поверхности треугольников 3D-модели, к максимальной площади проекции треугольников на плоскость.

Сканер способен воспроизводить сложную геометрию, острые края и тонкие ребра, а также экспортировать 3D-модель в программное обеспечение САПР в различных форматах. Универсальность подхода в распознавании образов и математического анализа получаемых 3D-изображений объектов позволяет решать широкий спектр задач в направлении объективного количественного описания рельефа излома с максимальной степенью достоверности по отношению к исходному объекту-оригиналу. Причем можно воспроизводить не только форму, но и текстуру поверхности. Текстура – изображение (растровый формат), применяемое к полигональной модели путем наложения, с целью придания модели фактурности, рельефности и цветовой окраски. Текстурирование важный этап в процессе создания и визуализации 3D-модели, позволяющий придать поверхности объемного объекта максимальной реалистичности и сходства с реальным изделием.

Сложные для сканирования цвета и материалы:

- отражающие и прозрачные поверхности, например: металл, зеркало, стекло;
- темные и черного цвета поверхности, поглощающие свет.

Для того чтобы достигнуть удовлетворительных результатов сканирования указанных объектов, рекомендуется проводить его с различных углов или использовать для обработки поверхности объекта специальный спрей, если это необходимо.

Таким образом, технология 3D-сканирования может эффективно использоваться при фрактографическом анализе поверхностей разрушения (изломов) деталей. Поскольку вид излома в определенной мере представляет собой своеобразную модель тех процессов, которые происходили при разрушении исследуемого объекта, фрактография служит одним из основных источников информации о характере разрушения деталей и является первым и обязательным этапом исследования при установлении причины их разрушения.

Литература

1. Феллоуз, Д. Фрактография. Металлы и сплавы: справ. изд./под ред. Дж. Феллоуза: пер. с англ. – М.: Металлургия, 1982. – 489 с.
2. Кудря, А. В. и др. Оценка строения изломов и структур в конструкционных сталях с использованием компьютеризированных процедур // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – №. 4 (34). – С.44-52.
3. Мерсон, Е. Д. Количественный анализ изломов при помощи конфокальной лазерной сканирующей микроскопии / Е. Д. Мерсон. В. А. Данилов, Д. Л. Мерсон // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – № 4 (34). – С. 68 – 75.