

Совместное действие неоднородной структуры (например, бейнитная прослойка в середине толщины листа на фоне феррито-перлитной полосчатости) и «грязного» слоя в осевой зоне приводит к расслоям при испытании падающим грузом и к снижению пластичности в Z-направлении, где разрушение «самоорганизуется» по грязному слою.

Таким образом, исследование механизмов совместного взаимодействия и конкуренции разномасштабных структур позволяет углубить представления о закономерностях протекания разрушения в среде с неоднородной структурой. Это имеет важное практическое значение: для выявления причин разброса качества металлопродукции и повышения его однородности.

Работа выполнена в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.2/2085) и благодаря финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-03-00995-а).

Список литературы

1. Штремель М.А., Беляков Б.Г., Беломытцев М.Ю. // ДАН СССР. 1991. № 1. С. 105.
2. Горицкий В.М. Тепловая хрупкость сталей М.: Metallurgizdat, 2007.
3. Штремель М.А. «Научные школы Московского государственного института стали и сплавов (технологического университета). 75 лет. Становление и развитие». М.: МИСиС. 1997. С. 392 – 397.
4. Штремель М.А. // ФММ. 1982. Т. 53. № 4. С. 807.
5. Кудря А.В., Никулин С.А., Николаев Ю.А., Арсенкин А.М., Соколовская Э.А., Скородумов С.В., Чернобаева А.А., Кузько Е.И. // Изв. вузов. Чёрн. металлургия. 2009. № 9. С. 62.
6. Штремель М.А., Кудря А.В., Бочарова М.А., Пантелеев Г.В. // ФММ. 2000. №5. С.102.
7. Броек Д. Основы механики разрушения. М.: Высшая школа, 1980. 368 с.
8. Кудря А.В., Соколовская Э.А., Арсенкин А.М. // ДиРМ.2010. № 1. С. 38.
9. Штремель М.А. // ФММ. 2005. Т. 99. № 4. С. 16-25.
10. Кудря А.В., Соколовская Э.А. // Изв. РАН. Сер. "Физическая". 2004. Т. 68. № 10. С. 1495.
11. Кудря А.В., Соколовская Э.А., Салихов Т.Ш., Пономарёва М.В., Скородумов С.В., Глухов М.Г. // Изв. Вузов. Черная металлургия. 2008. № 11. С. 30.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫХ ПРОЦЕДУР ИЗМЕРЕНИЯ СТРУКТУР И ИЗЛОМОВ

Соколовская Э. А.

*НИТУ "МИСис", Москва, РФ,
sokolovskaya@misis.ru*

Масштаб структур, встречающихся в конструкционных материалах весьма широк: от нано- до макроразмеров. Их конечный рисунок отражает особенности эволюции структур и дефектов в рамках длинной технологической цепочки, например, в чёрной металлургии [1,2].

Процессы разрушения – это совместное эффективное взаимодействие дефектов решетки со структурой материала (на разных масштабах наблюдения) [3]. Понимание механизмов разрушения различных структур, их взаимодействия при деформации и разрушении определяет успех при определении причин провалов вязкости, поиске оптимальных структур под требуемые свойства. При быстром протекании разрушения в металле (для стали со скоростью ~ 5÷6 км/с [4]) обычно наблюдается только его конечный результат (излом), это объясняет широкий интерес к изучению топографии поверхности разрушения [5].

Однако преимущественно фрактография носит качественный характер – определение типов изломов. Это следствие отсутствия, вплоть до последнего времени, доступных, в том числе по стоимости, средств измерения, трудоёмкости процедур. Например, с использованием традиционного инструмента для наблюдения микростроения изломов – сканирующего электронного микроскопа можно достаточно быстро оценить механизм (или механизмы) разрушения. Однако, для того, чтобы выявить различия в вязкости двух однотипных, скажем вязких изломов, необходимы измерения их топографии. С этой целью истинный рельеф обычно реконструируется по стереопарам изображений, что представляет собой достаточно длительный по времени процесс. Трудоёмкость исследования возрастёт ещё больше, если требуется большая степень детализации объекта наблюдения, да ещё на представительном (в масштабе образца) поле зрения. Схожие проблемы при наблюдениях строения изломов на мезоуровне. Во многом идентичная ситуация и при контроле разномасштабных структур, где также необходимы корректные процедуры реконструкции их изображений в цифровом виде и объективный выбор информативных элементов их геометрии.

Массовое внедрение современных компьютеров и цифровых средств регистрации изображений в материаловедческой практике сделало реальным получение количественных оценок структур и изломов, например, при стандартизации требований к ним, ранжировке металла по вязкости [6-9]. Однако, наличие широкой номенклатуры имеющихся средств наблюдений и измерений, соответствующих программных продуктов для обработки изображений делает актуальной проблему воспроизводимости и сопоставимости получаемых результатов. В частности, при измерении многих структур, например, загрязнённости стали неметаллическими включениями получаемый результат будет сопоставим лишь при едином алгоритме и параметрах настройки для опознавания границы "частица-металл". Поэтому при переходе от одной модификации автоматического анализатора изображений "Квантимет" к другой на одних и тех же шлифах можно получить 2–3-кратную разницу в объёмной доле мелких включений, а вытянутых включений до 4–5 раз [10]. Отсюда вытекает актуальность метрологического обеспечения такого рода компьютеризированных процедур.

Есть две составляющие проблемы, первая связана с собственно получением цифровой модели, вторая – с её объективным описанием. Существуют метрологически разнородные источники информации, например, при оценке загрязнённости стали сульфидами: серный отпечаток от темплета в масштабе 1:1; нетравленный шлиф (для ранжировки по визуально опознаваемому баллу сульфидов - шкалы ГОСТ 1778 и построения гистограмм размеров включений сульфидов при увеличениях до $\times 1000$). Отсюда возможны различные носители информации об изображении: бумажные, плёночные, непосредственно фиксируемые на матрице (цифрового фотоаппарата). Полученное цифровой камерой изображение состоит из отдельных точек — пикселей (при фотосъёмке ту же роль играет "зерно" фотоэмульсии негатива). Если L — поперечник наблюдаемого в микроскопе поля, то при N пикселях в строке размер пикселя $\delta x = L/N$ (и $-L$, и x – в масштабе образца). Это определяет разрешение и накладывает ограничения на применение цифрового увеличения для рассмотрения мелких деталей.

Получение цифровой модели связано с выбором корректных алгоритмов бинаризации первичного изображения (выбор порогового значения интенсивности, переводящего изображение в черно-белое вида "0-1", где "0" — соответствует темным точкам, с интенсивностью ниже границы контраста, а "1" — светлым участкам). Это даёт возможность однозначно опознавать границы отдельных структурных составляющих, например, неметаллических включений.

Многие программные продукты для анализа изображений предоставляют (по умолчанию) выбор контраста пользователю (наиболее распространена схема бинаризации "на глаз"). Однако когда три наблюдателя трижды в разное время выбирали контраст изображений различных типов дендритной структуры и серного

отпечатка, то среднеквадратичная ошибка воспроизводимости составила 5 – 10 % для одного из них в разное время и еще столько же - систематическое расхождение между ними [11]. Это делает оправданным усилия по разработке алгоритмов автоматической идентификации границ отдельных составляющих структуры.

Точность преобразования стереопары в карту рельефа методами классической стереофотограмметрии в значительной мере зависит от степени надежности предварительного визуального опознавания и выделения на обеих снимках достаточного числа достоверно совпадающих точек. При "невыразительном пейзаже", например, транскристаллитном разрушении это может быть ненадежно. Возможны другие источники погрешностей [11]: неравномерность контраста исходных изображений объекта, различное положение объекта и приемника (при съемке стереопары), дефокусировка изображений.

Для сопоставления результатов расчета z -координат по трехмерным изображениям, например, полученным в программе PHOTOMOD на различных изломах (и полях зрения) целесообразно использовать эталон-объекты известной геометрии (соизмеримые с масштабом элементов излома), измеренные независимым способом [11].

Важную роль для воспроизводимости полученных результатов играет статистика измерений. Показано, в частности, что при наблюдении закономерностей формирования дендритного рисунка в улучшаемой стали размер кадра, начиная с которого обеспечивается воспроизводимость характеристик геометрии структуры, превышает габариты стандартного образца для ударных испытаний. С одной стороны это означает, что при меньшей площади анализируемого кадра возможны случайные флуктуации числовых значений характеристик структуры, с другой – объясняет причину разброса значений той же ударной вязкости от образца к образцу.

Схожая картина наблюдается и при измерении геометрии изломов, когда на разных масштабных уровнях наблюдения, есть свой минимальный объем первичных данных, который даёт воспроизводимые значения параметров изломов [11].

Важен и сам выбор характеристик и их представление. Так, например, только накопление представительной статистики данных дало возможность обнаружить причины противоречивых результатов при определении фрактальной размерности различных изломов – недостаточный объем экспериментальных данных [11]. При необходимой статистике измерений оказалось, что значения фрактальной размерности различных видов изломов не отличаются. Они, по-видимому, не имеют практического смысла, могут совпадать (при условии корректного их определения), но из этого не вытекает схожесть механизмов разрушения.

Следует внимательно подходить к традиционному использованию средних значений X_{cp} характеристик параметров геометрии изображений для оценки различий морфологии разномасштабных структур. Как правило, здесь преобладают мелкие элементы и, например, характер распределения неметаллических включений по размерам имеет асимметричный характер, поэтому в ряде случаев более эффективным для описания различий в строении могут быть значения размахов ($X_{max} - X_{min}$) характеристик. Аналогичная ситуация - и при измерениях изломов [12].

Таким образом, имеющаяся практика работы с изображениями в материаловедении указывает на настоятельную необходимость метрологического обеспечения компьютеризированных процедур измерения структур и изломов для обеспечения воспроизводимости и повторяемости результатов. Это в конечном итоге позволит стандартизировать требования к ним.

Работа выполнена в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.2/2085) и благодаря финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-03-00995-а).

Список литературы

1. Кудря А.В., Соколовская Э.А. // Известия РАН. Сер. Физическая. 2004. Т. 68. № 10. С. 1495 - 1502.
2. Кудря А.В. // МиТОМ. 2005. № 5. С. 18-23.
3. Штремель М.А. «Научные школы Московского государственного института стали и сплавов (технологического университета). 75 лет. Становление и развитие». М.: МИСиС. 1997. С. 392 – 397.
4. Физические величины: Справочник. / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др. Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат. 1991. 1232 с.
5. Штремель М.А. // МиТОМ. 2005. № 5. С. 35-43.
6. Казаков А.А., Киселев Д.В., Андреева С.В., Мясников А.А., Головин С.В. // Черные металлы. 2007. Июль-август. С. 24-31.
7. Казаков А. А., Киселев Д. В., Андреева С. В., Чигинцев Л. С., Головин С. В., Егоров В. А., Марков С. И. // Черные металлы. 2007. Июль-август. С. 31 - 37.
8. Кудря А.В., Соколовская Э.А., Сухова В.Г., Марков Е.А., Арсенкин А.М., Салихов Т.Ш. // МиТОМ. 2009. № 5. С. 60-67.
9. Кудря А.В., Соколовская Э.А., Салихов Т.Ш., Кудрявцев Д.В., Скородумов С.В. // Известия Вузов. Черная металлургия. - 2009. - № 5. - С. 41-44.
10. Штремель М.А., Фадеев Ю.И., Максимова О.В., Чернуха Л.Г., Анисимова Н.И. // Заводская лаборатория. 1987. №7. С.23 - 28.
11. Кудря А.В., Соколовская Э.А., Арсенкин А.М. // ДиРМ. 2010. № 1. С. 38-44.
12. Кудря А.В., Сухова В.Г. 48-я конференция «Актуальные проблемы прочности». Труды конференции. Тольятти. 2009. С. 252 - 255.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К АКУСТИКО-ЭМИССИОННОМУ ДИАГНОСТИРОВАНИЮ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Савельев В. Н., Нагинаев К. Е.*, Савельев Д. В.**, Тишкин А. П.**

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,
savelyev@pradicom.ru

* ДОО «Оргэнергогаз», г.Москва, Россия, naginaev@oeg.gazprom.ru
ООО «Прадиком», г. Санкт-Петербург, Россия, info@pradicom.ru

Для определения реального технического состояния и выявления развивающихся при эксплуатационных нагрузках дефектов типа трещин в настоящее время широко применяется метод акустической эмиссии (АЭ). Данным методом в производственных объектах надежно выявляются наиболее часто встречающиеся причины макроразрушения конструкций - усталостное разрушение стали и коррозионное растрескивание под напряжением (КРН).

Метод АЭ дает наиболее достоверную информацию о развитии (степени опасности) дефектов в металле узлов и деталей технологического оборудования, поскольку даже наличие крупных дефектов, “заложенных” при изготовлении или монтаже оборудования не является в общем случае основанием для выбраковки изделий после их эксплуатации в течение длительного срока (зачастую более 20-30 лет). Поэтому задача исследования, выявления и оценки степени опасности различных дефектов является актуальной не только с научной, но и с технической точки зрения.

Проведены исследования процесса разрушения конструкционных сталей, которые проводились в два этапа – на полномасштабных модельных образцах и на промышленных объектах, изготовленных из аналогичных по составу сталей.

Была получена связь размеров микротрещин с амплитудой сигналов АЭ в виде степенного уравнения с показателем степени равным 1,5 ($A^2=BL^3$) [1]. Эта функциональная зависимость между размером микротрещины и амплитудой генерируемого ею