

## ОТЗЫВ

На автореферат Болотникова Алексея Игоревича «Исследование закономерностей деградации конструкционных материалов в процессе нагружения методами механики и физики разрушения», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Работа направлена на развитие методов диагностики поврежденности сталей различных классов при статическом деформировании и циклическом нагружении совместным применением методик акустической эмиссии (АЭ) и корреляции цифровых изображений (КЦИ). Такой подход для анализа процессов деформирования рассмотренных материалов ранее не использовался, и поэтому целый ряд полученных результатов явно обладает научной новизной. К наиболее значимым с практической точки зрения результатам, перспективным для использования при диагностировании состояния конструкций с недостаточно определяемыми по имеющейся информации условиями нагружения, следует отнести:

- Существенное различие интенсивности сигналов АЭ на стадии значительных пластических деформаций для бейнитных и аустенитных сталей; для первых – регистрируется «акустическое затишье», для вторых – его не наблюдается. В последнем случае научный и практический интерес представляет полученные зависимости параметров АЭ от размеров зерна.
- Возможность с помощью АЭ-дефектоскопии контролировать дефектность изделий, изготовленных по аддитивным технологиям (СЛС или ПЛВ) и эффективность термической обработки для ее снижения.
- Возможность контроля циклической повреждаемости металла по результатам применения АЭ и КЦИ при его статическом растяжении. Как наиболее убедительно показанные в работе изменения следует отметить: снижение суммарного числа сигналов АЭ, их средней активности, возрастание параметра  $RA$  с приближением числа циклов к предельному значению. Снижение  $b_{AЭ}$ -параметра, действительно, может быть следствием увеличения длин микротрещин в результате их слияния.

Первая часть экспериментальной работы содержит анализ диаграмм деформирования исследуемых сталей с выделением новой «особой» точки  $\sigma_{D2}$ , которую автор связывает с процессом локализации пластической деформации и слиянием образовавшихся ранее микротрещин, регистрируемых на поверхности деформируемого образца. Определяется она как локальный максимум второй производной от

экспериментально определенной зависимости напряжений от относительных деформаций  $\varepsilon^*$ . К этой части относится замечание 2 – в автореферате не дано разъяснений, что эта за величина. Из дополнительных разъяснений автора следует, что это фактически отношение перемещения штока испытательной машины к его значению при разрушении образца. Учитывая, что образец имеет корсетную форму с переменным сечением, а в результат измерений вносит существенный вклад податливости испытательной машины (что видно по углу наклона упругого участка диаграммы), значение  $\varepsilon^*$  не может быть непосредственно переведено в величину деформации, соответствующей напряжениям  $\sigma_{D2}$ . А так как разрушения по вязкому механизму, по общепринятой точке зрения, все же контролируются накопленной пластической деформацией, значимость введенной автором характеристики, выраженной в напряжениях, представляется сомнительной.

Вторая часть экспериментов связана с усталостным нагружением образцов до заданного отношения числа циклов нагрузки к числу циклов до разрушения  $N/N_f$ , с последующим определением диаграммы деформирования и параметров, рассматриваемых как коррелированные с повреждаемостью металла. В результате этого исследования получены ряд достаточно значимых результатов, отмеченных выше. Вместе с тем часть выводов автора представляется дискуссионными, что особенно относится к введению параметра  $J^*$ -интеграла лишь на основании совпадающей с общепринятым определением  $J$ -интеграла размерностью.

Безусловно, убедительным является применение автором разработанных методик для контроля результата испытаний на водородо-индуцированное растрескивание в сероводородосодержащей среде. Представляется перспективным также совместное использование АЭ и КЦИ при испытаниях на трещиностойкость, особенно при вязком механизме распространения трещины, когда возникает необходимость определения момента страгивания трещины.

В целом, можно заключить, что многие аспекты работы автора являются дискуссионными, но это не является ее «минусом», но, скорее, стимулом для дальнейших исследований. К числу же конкретных **замечаний** относятся следующие:

1. Не следует использовать наименования сталей «арктическая» «трубная» «аддитивная» - таких терминов не существует (хотя понятно, что такие условные наименования сокращают текст).
2. В автореферате не содержится информации по определению относительной деформации  $\varepsilon^*$ , и приходится прибегать к публикациям автора для ее расшифровки.
3. Поскольку автор связывает анализ диаграмм деформирования и зависимости АЭ-сигналов со стадиями развития микротрещин, было бы желательно в автореферате

привести хотя бы один пример результатов оптической металлографии, подтверждающие эти предположения.

4. В автореферате нет информации по уровню напряжений, при которых проводилось циклирование образцов (по отношению к пределу текучести) и количеству циклов нагружения  $N_f$ . Эта информация позволила бы лучше оценить значимость полученных автором зависимостей.

Сделанные замечания отражаются на оценке возможных путей практического использования результатов работы, но не изменяют общего положительного заключения по ней. Считаю, что диссертационная работа соответствует квалификационным требованиям ВАК РФ, в частности, удовлетворяет требованиям пункта 9-11, 13-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в ред. от 01.10.2018 с изм. от 20.03.2021), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Болотников Алексей Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности наук по специальности 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Главный научный сотрудник

НПК 3 НИЦ «Курчатовский институт»

- ЦНИИ КМ «Прометей»,

доктор технических наук

А.В.Ильин

Я, Ильин Алексей Витальевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Ученый секретарь института,

кандидат технических наук

Т.И.Бобкова



М.П.

Организация: Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» - Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В.Горюнина.

Адрес: 191015, Санкт-Петербург, ул.Шпалерная д. 49

Тел.: +7921 972 2712

email: [mail@crism.ru](mailto:mail@crism.ru), [npk3@crism.ru](mailto:npk3@crism.ru)

сайт: [www.crism-prometey.ru](http://www.crism-prometey.ru)