

УДК 620.186.4

**ВЛИЯНИЕ ВИДА НАГРУЖЕНИЯ НА КИНЕТИКУ НАКОПЛЕНИЯ
ПОВЕРХНОСТНЫХ МИКРОТРЕЩИН КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ**

Иван Олегович Синев

*Студент 3 курса, бакалавриат,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Л.Р. Ботвина,
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института
металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН*

Ресурс металлоконструкций при статическом и особенно при циклическом нагружении во многом определяется кинетикой малых дефектов, формирующихся в процессе нагружения. Знание закономерностей этого процесса позволит обеспечить безопасность эксплуатации конструкций.

Автор работы [1] выделил 3 ранга малых усталостных микротрещин, отличающихся особенностями роста: (1) микроструктурно короткие трещины, размер которых сопоставим с размером зерна металла исследуемого образца; (2) физически малые трещины, размер которых не превышает 500 мкм; (3) длинные трещины размером более 500 мкм, для описания поведения которых применима механика упругопластического разрушения.

Аналогичное деление может быть применено и для малых трещин, развивающихся в условиях статического нагружения, что будет показано в данной работе.

Для анализа кинетики малых усталостных трещин в малоуглеродистой и в нержавеющей сталях использовали экспериментальные данные работ [2, 3].

Исследование поврежденности при статическом нагружении образцов различной геометрии (плоских гладких и с концентраторами напряжений) и структуры исследуемых сталей (углеродистые стали 20 и 45 и аустенитная сталь X18H9T) осуществляли с применением компьютерного анализа картин поверхностных микротрещин, полученных на оптическом микроскопе. Это позволило оценить характеристики кинетики микротрещин на разных этапах деформирования.

Анализ изображений, полученных при статическом растяжении образцов, а также данные работ [2, 3] по усталостному разрушению, позволили оценить влияние вида нагружения на характеристики кумулятивных распределений микротрещин по их длине, относительную площадь поврежденной поверхности S^* , равную отношению площади поверхности занятой микротрещинами к площади кадра и концентрационный критерий k (коэффициент Журкова-Куксенко), характеризующий среднее расстояние между микротрещинами и модифицированный для плоской поверхности:

$$k = \frac{1}{L_{cp} \cdot \sqrt{n}}, \text{ где}$$

n – плотность микротрещин, L_{cp} – их средняя длина [4].

На рис. 1 приведены кривые изменения концентрационного k -критерия и плотности микротрещин различной длины (в соответствии с делением трещин на ранги в работе [1]) для образцов из стали 20 при статическом нагружении в функции

относительной деформации (рис. 1 а) и циклическом нагружении в функции относительного числа циклов (рис. 1 б).

В обоих случаях изменение плотности микротрещин обнаруживает немонотонный характер зависимости от деформации, позволяющий выделить три стадии накопления повреждений – стадию образования микротрещин (I), их слияния (II) и ускоренного раскрытия перед формированием макротрещины (III).

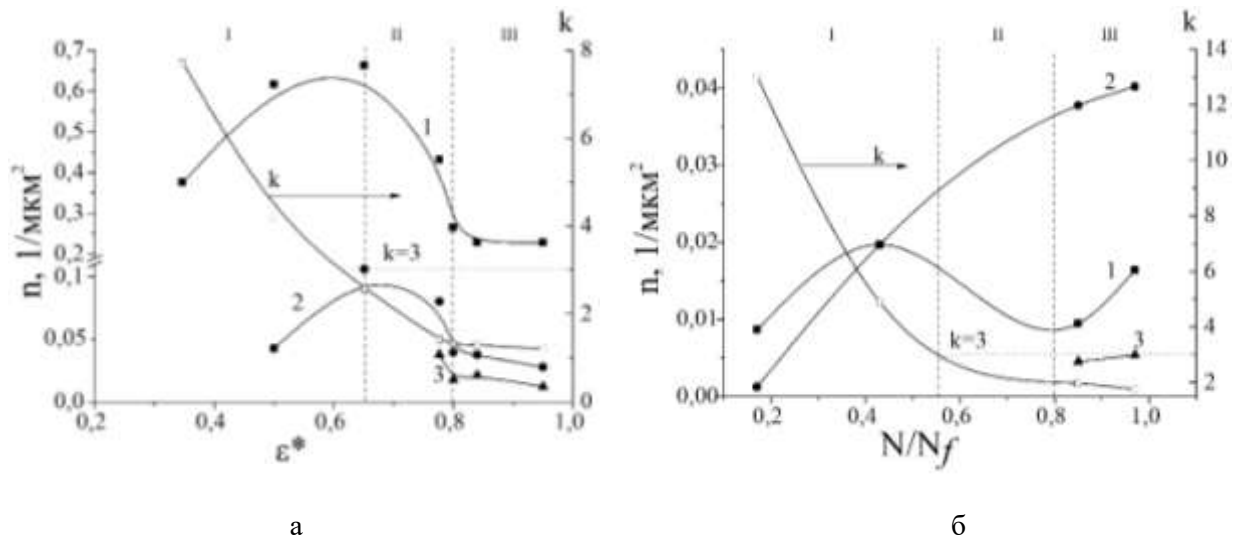


Рис. 1. Изменение концентрационного k -критерия и плотности микротрещин различной длины (1 – менее одного размера зерна $d=30$ мкм, 2 – от одного до двух размеров зерна, 3 – более длинных трещин) для образцов из стали 20 при статическом (а) и циклическом (б) нагружении в функции относительной деформации и относительного числа циклов соответственно

Для обоих видов нагружения переход от стадии I к стадии II сопровождается снижением плотности малых микротрещин и концентрационного k -критерия, который становится меньше 3. Эти факты указывают на начало процесса слияния дефектов, следствием которого является образование микротрещин третьего ранга на стадии III, плотность которых не меняется перед формированием макротрещины.

Отличием усталостного разрушения от статического является рост суммарной плотности микротрещин перед разрушением, а также заметное отсутствие падения плотности микротрещин второго ранга при переходе к стадии II.

Таким образом, установлено влияние вида нагружения на стадийность и характер порангового развития микротрещин в различных конструкционных сталях при статическом и циклическом нагружении, определяющий иерархическую структуру поврежденности и значения концентрационного критерия.

Литература

1. Miller K.J. The behaviour of short fatigue cracks and their initiation part ii-a general summary // *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.* 1987. Vol. 10, № 2. pp. 93–113.
2. Suh C.M., Yuuki R., Kitagawa H. Fatigue Microcracks in a Low Carbon Steel // *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.* 1985. Vol. 8, № 2. pp. 193–203.
3. Zhao Y., Gao Q., Wang J. Experimental observations on the short fatigue crack behaviour of a stainless steel pipe-weld metal: microstructures and research approach // *Acta Metall. Sin.* 2000. Vol. 36, № 9. pp. 931–936.
4. Botvina L.R., Soldatenkov A.P. On the Concentration Criterion of Fracture // *Met. Noveishie Tekhnol.* 2017. Vol. 39, № 4. pp. 477–490.