

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕГРУЗОК НА СКОРОСТЬ РОСТА УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН

О.В. Емельянов, М.П. Пелипенко

THE INFLUENCE OF OVERLOADING ON THE RATE OF INCREASE OF FATIGUE CRACKS

O.V. Emeliyanov, M.P. Pelipenko

Представлены результаты экспериментальных исследований роста усталостных трещин в зависимости от условий нагружения. Установлено существенное влияние интервала между растягивающими выбросами на процесс развития усталостных трещин.

Ключевые слова: металлические конструкции, циклическое нагружение, долговечность, усталостная трещина, перегрузка растяжением, эффект задержки в развитии трещины, период воздействия перегрузок, внецентренно растянутые компактные образцы, усталостные испытания, участки в пределах зоны замедления развития трещины.

The results of experimental studying of increase of fatigue cracks depending on the loading conditions are given in the article. Significant influence of the interval between the tensile outliers on the process of fatigue cracks development is specified.

Keywords: metal construction, cyclic loading, durability, fatigue crack, overloading by stretching, retardation effect in crack development, period of overloading influence, non-centrally tensional compact specimens, fatigue testing, segments within the slowing-down area of crack development.

30 декабря 2009 года был принят Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Согласно его требованиям в проектной документации на здания или сооружения необходимо указывать информацию о сроках эксплуатации здания или сооружения и их частей, минимальной периодичности осуществления проверок, осмотров и освидетельствований состояния строительных конструкций и (или) необходимости проведения мониторинга состояния строительных конструкций в процессе эксплуатации здания или сооружения. Поэтому разработка метода оценки срока службы конструкций является неотъемлемой частью общей проблемы обеспечения долговечности и механической безопасности зданий и сооружений.

При расчетах долговечности элементов металлических конструкций, работающих в условиях циклического нагружения, случайный эксплуатационный процесс схематизируется и заменяется блочным. Рост усталостной трещины при этом определяют путем линейного суммирования приращений длины от каждой ступени блока нагружения. Между тем в литературе имеется значительное число исследований, посвященных изучению влияния взаимодействия амплитуд нагружения разного уровня на скорость роста усталостных трещин, и предложены модели, объясняющие эффект замедления скорости роста трещины после перегрузки [1, 2, 4–9].

Анализ опубликованных работ показывает, что накопленные экспериментальные данные и теоретические модели роста трещин посвящены в основном проблеме влияния однократных или многократных (снижение циклической нагрузки) растягивающих выбросов на скорость роста усталостной трещины.

Для реального процесса нагружения характерно периодическое появление растягивающих выбросов. Имеющиеся в литературе ограниченные данные показывают, что уменьшение периода воздействия растягивающих выбросов снижает эффект задержки в развитии трещины [3].

В настоящей работе для изучения эффектов влияния интервала между перегрузками растяжения на скорость усталостных трещин были проведены усталостные испытания на внецентренно растянутых компактных образцах, изготовленных из стали ВСтЗсп. С целью ускорения зарождения усталостной трещины в вершине бокового пропила выполнялся тонкий надрез при помощи остро заточенной пилки. Регистрация приращений длины трещины в процессе циклического нагружения осуществлялась с помощью оптического микроскопа МПБ–2 с 24-кратным увеличением и ценой деления 0,05 мм. Участки боковых поверхностей образцов с обеих сторон вдоль предполагаемой траектории распространения трещины зачищались и тщательно полировались до получения зеркальной поверхности. На полированные участки боко-

Теория расчета строительных конструкций

вых поверхностей перпендикулярно траектории роста трещины наносились тонкие индикаторные риски с шагом 5 мм. Для удобства визуального контроля роста трещины использовалась красящая жидкость. Текущая длина усталостной трещины вычислялась как среднее значение замеров с обеих сторон образца.

Нагружение образцов осуществлялось на универсальной испытательной машине ЦДМ Пу-10т. Частота нагружения составляла 7 Гц. Коэффициент асимметрии цикла регулярного нагружения $R = 0,125$; уровень перегрузки $K_{max^{ol}}/K_{max} = 1,5$. Начальная длина трещины во всех образцах со-

ставляла 31 мм. Было испытано семь серий образцов: при регулярном нагружении, с однократной перегрузкой и повторяющимися перегрузками с периодами 30 000, 20 000, 15 000, 10 000, 5000 циклов нагружения.

На рис. 1 приведены зависимости между длинами трещин и числом циклов нагружения для всех испытанных серий образцов. Представленные результаты показывают, что минимальное число циклов до разрушения имеет место при регулярном нагружении, максимальное – в случае однократной перегрузки.

На рис. 2 показано снижение относительной

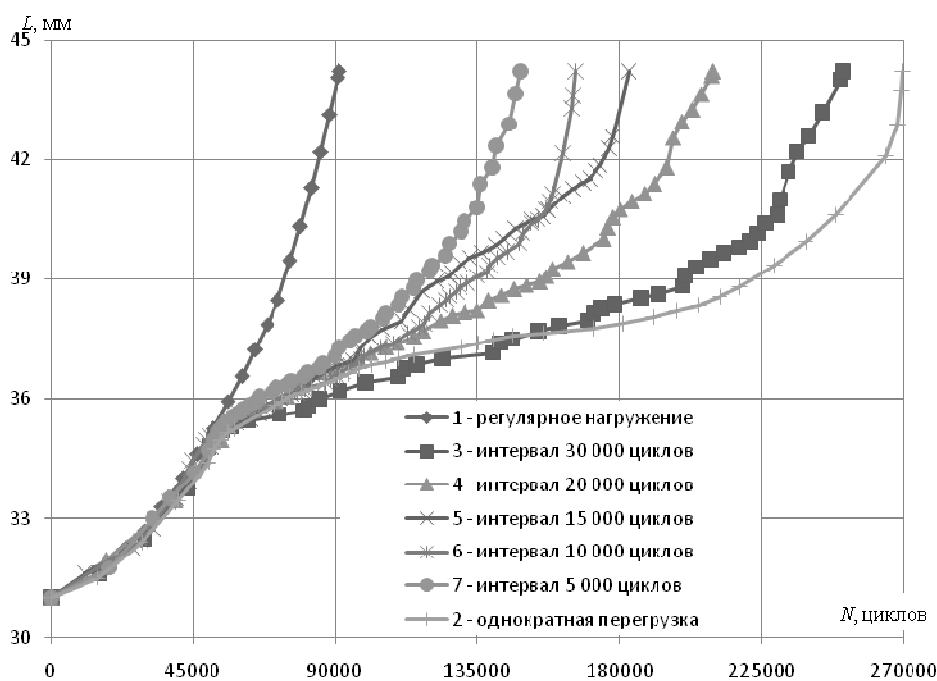


Рис. 1. График зависимости роста трещины от количества циклов нагружения при различных режимах нагружения

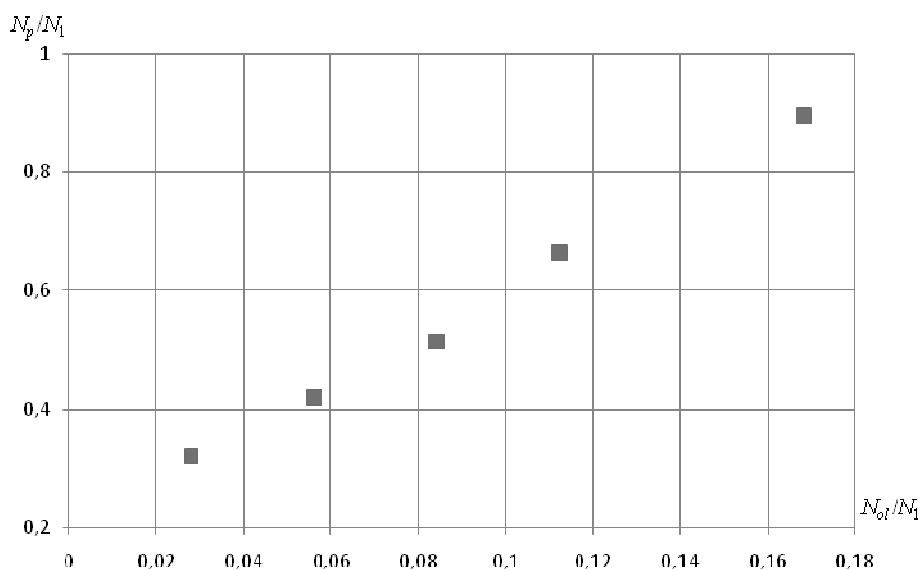


Рис. 2. Зависимость относительной величины задержки в развитии трещины N_p/N_1 от относительной величины интервала между перегрузками N_{ol}/N_1

величины задержки N_p/N_1 в развитии трещины от относительной величины интервала между перегрузками N_{ol}/N_1 (где N_p – число циклов задержки в развитии трещины при повторении перегрузок через n циклов, N_1 – число циклов задержки в случае однократной перегрузки, N_{ol} – интервал между перегрузками). Наблюдается снижение эффекта задержки с уменьшением интервала между перегрузками растяжения.

Изменение длины (а) и скорости роста трещины (б) после воздействия однократной перегрузки показано на рис. 3. В пределах зоны задержки рос-

та трещины можно выделить несколько участков. Сразу после воздействия растягивающего выброса наблюдается резкое кратковременное ускорение в развитии трещины (участок 1–2). Затем скорость роста трещины постепенно снижается (участок 2–3), достигая минимума в точке 3. На участке 3–4 трещина развивается с постоянной скоростью. С точки 4 скорость роста трещины постепенно повышается до уровня (точка 5), который имел бы место в случае отсутствия перегрузки.

Протяженность отдельных участков в пределах зоны замедления роста трещины зависит от уровня перегрузки. Наибольший вклад в задержку

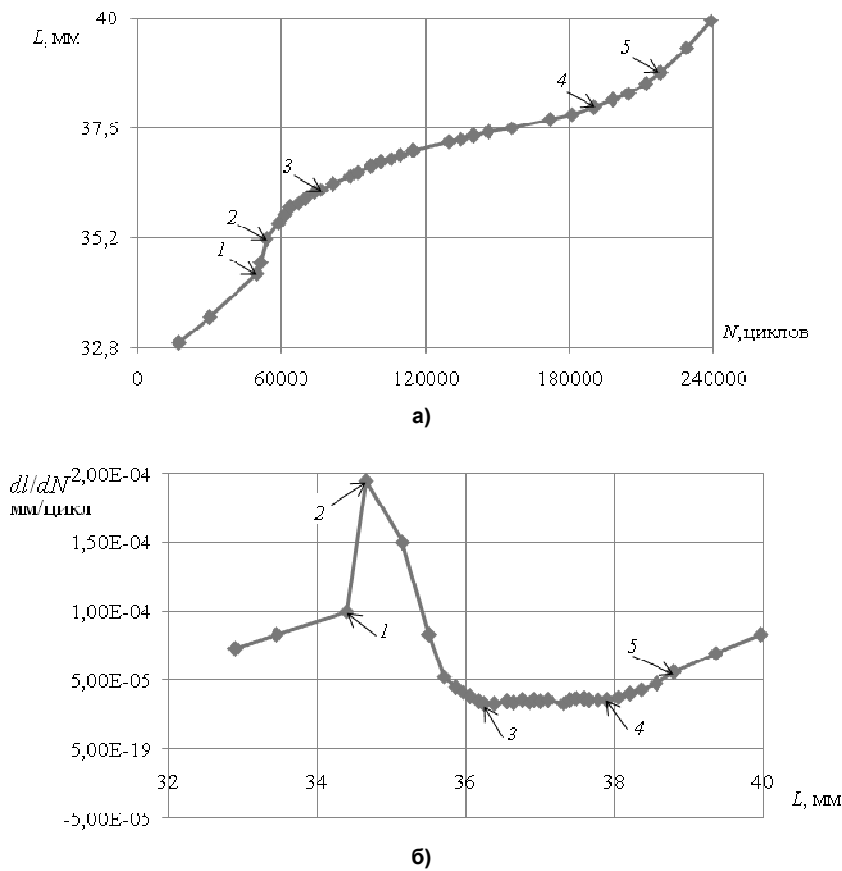


Рис. 3. Изменение длины (а) и скорости роста трещины (б) в пределах зоны замедления после однократной перегрузки

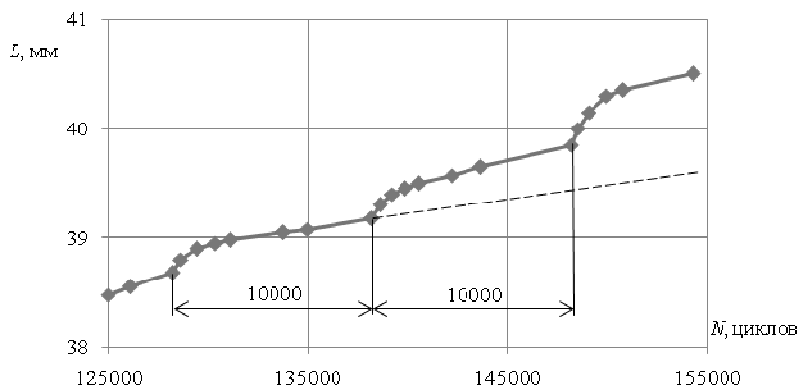


Рис. 4. Фрагмент зависимости длины трещины от числа циклов нагружения при воздействии перегрузок с периодом равным 10 000 циклов

роста трещины вносит участок 3–4, на котором скорость роста трещины минимальна.

При периодическом следовании выбросов, как правило, полностью реализуются участки 1–2 и 2–3. На рис. 4 показан фрагмент зависимости длины трещины от числа циклов нагружения при воздействии перегрузок с периодом равным 10 000 циклов. Штриховой линией на рисунке показано изменение длины трещины в случае воздействия однократной перегрузки. Из графика видно: чем меньше интервал между выбросами, тем выше скорость развития трещины. В случае следования выбросов с периодом меньшим чем протяженность участков 1–2 и 2–3, скорость роста трещины может оказаться выше, чем при регулярном нагружении, и эффект задержки в развитии трещины не проявится.

Выводы

1. Величина интервала между растягивающими перегрузками оказывает существенное влияние на процесс развития усталостной трещины.

2. Использование в расчетах долговечности моделей роста трещины, не учитывающих особенности развития трещины после воздействия перегрузок (участки 1–2 и 2–3), приводит к завышенной оценке долговечности элементов металлических конструкций.

Литература

1. Elber, W. *The significance of fatigue crack closure* / W. Elber // *ASTM, Special Technical Publication* 486. – 1971. . – P. 230–242.

2. Jones, R.E. *Fatigue crack growth retardation after single – cycle peak overload in Ti-6Al-4v titanium alloy* / R.E. Jones // *Eng. Fract. Mech.* – 1973. – Vol. 5, Sept. – P. 585–604.

3. Klysz, S. *Effects of overloads on the fatigue crack growth in metals* / S. Klysz // *Techn. Sc.* – 2005. – № 8. – P. 165–179.

4. Matsuoka, S. *The retardation phenomenon of fatigue crack growth in HT80 steel* / S. Matsuoka, K. Tanaka, M. Kawahara // *Eng. Fract. Mech.* – 1976. – Vol. 8. – P. 507–523.

5. McMillan, J.C. *Fatigue crack propagation under program and random loads* / J.C. McMillan, P.M. Pelloux // *ASTM Special Technical Publication* 415. – 1967. – P. 505–535.

6. Petrak, G.J. *Predictions of the Effect of Yield Strength on Fatigue Crack Growth Retardation in HP-9Ni-4Co-30C Steel* / G.J. Petrak, J.P. Gallagher // *Transactions of the ASME, Journal of Engineering Materials and Technology.* – 1975 – Vol. 97, № 3. – P. 206–213.

7. Schijve, J. *Fatigue damage accumulation and incompatible crack front orientation* / J. Schijve // *Eng. Fract. Mech.* – 1974. – Vol. 6. – P. 245–252.

8. Wheeler, O.E. *Spectrum loading and crack growth* / O.E. Wheeler // *Journal of Basic Engineering, Trans, ASME.* – 1972. – March. – P. 181–186.

9. *Extensive study of low fatigue crack growth rates* / J. Willenborg, R.M. Engle, E.T. Wessel, W.G. Clark // *ASTM STP* 513. – 1972. – P. 141–170.

Поступила в редакцию 7 сентября 2011 г.