

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕДЛЕННОГО РОСТА УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В МЕТАЛЛАХ

© 2011 Ю.И. Кольцун, Д.П. Подлеснова

Институт энергетики и транспорта Самарского государственного аэрокосмического университета – национального исследовательского университета

Поступила в редакцию 25.11.2011

В работе представлен теоретический анализ особенностей развития медленно растущих усталостных трещин в зонах опасного сечения деталей, сохраняющих несущую способность в период безопасного ресурса машин. Приведены усталостные изломы с различными критическими глубинами медленно растущих усталостных трещин как результат комплексного влияния взаимосвязанных факторов при изгибе и кручении по симметричному циклу идентичных образцов. Установлено, что при нормальной температуре и частоте 19,5 Гц критическая глубина усталостной трещины зависит от вида и схемы нагружения, структуры и вязкости, класса материалов, степени концентрации напряжений, размера опасного сечения, амплитуды нагружения.

Ключевые слова: *усталостная трещина, коэффициент интенсивности напряжений, структура металла, изгиб, кручение, амплитуда, частота, вязкость*

Образование усталостных трещин в деталях и элементах конструкций машин, силовых и энергетических установок в процессе их эксплуатации создает определенные трудности для разработки методик оценки надежности в период расчетного ресурса ещё на этапе проектирования деталей и агрегатов. Современный принцип проектирования деталей по безопасному ресурсу, не предусматривающий за этот период возможного появления медленно растущих усталостных трещин в деталях, как показал полувековой опыт эксплуатации транспортных машин, не оправдал себя. К примеру, техногенная катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС наиболее остро оголила данную проблему, так как экспертиза причин, приведшей к отрыву энергоустановки, показала многолетний рост усталостных трещин в шпильках крепления крышки турбины гидроагрегата. В этой связи в настоящее время наиболее остро стоит вопрос о переходе на новый принцип проектирования деталей, агрегатов и конструкций силовых, энергетических и транспортных машин.

Цель работы: теоретический анализ факторов, влияющих на медленный рост усталостных трещин от их безопасной глубины до критического значения, и оценка их комплексного взаимодействия при макроструктурном анализе реальных усталостных изломов из различных классов металлов, полученных при различных видах деформации.

В литературе нередко встречаются публикации, связанные с нераспространяющимися усталостными трещинами, в которых представлены результаты экспериментально-теоретических исследований [1-4]. Однако современных научных

работ, определяющих взаимосвязанный анализ физических, геометрических и кинетических особенностей медленного роста усталостных трещин и их закономерностей на базе конкретных изломов образцов и деталей на сегодняшний день крайне мало [5] в силу очень высокой стоимости исследований. Исследованию подлежат усталостные трещины в массивных деталях цилиндрического поперечного сечения из металлических материалов трех классов: среднеуглеродистая сталь 45, цветной алюминиевый сплав Д16Т, легированный сплав ЭИ961Ш, а также конкретные детали из высоковязких материалов. Так как на базе экспериментальных данных изломов образцов из этих металлов была сформулирована и обоснована гипотеза плоских продольных сечений [6], то для описания закономерностей роста усталостных трещин используется известная формула коэффициента интенсивности напряжений [3-5, 7], в которой длина трещины l заменяется на глубину a . Данный подход обосновывается в работе [10]. Но для того, чтобы понимать процессы, сопровождающие рост усталостной трещины до её критической величины, необходимо сначала рассмотреть факторы, влияющие на рост трещины в условиях статического нагружения, а затем факторы, влияющие на медленно растущие усталостные трещины.

Статическое нагружение. Критическая глубина трещины a_{cr} , при которой теряется несущая способность и начинается разрушение детали из пластичного металла при статическом нагружении в общем в случае имеет следующий вид [2-4, 7]:

$$a_{cr} = \frac{K_c^2}{\pi \sigma_N^2}, \quad (1)$$

Кольцун Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры общинженерной подготовки. E-mail: koltoun.y.i@mail.ru
Подлеснова Дарья Павловна, аспирантка

где: K_c – вязкость или критический коэффициент интенсивности напряжений, который при изгибе, срезе и антиплоском сдвиге обозначается соответственно через K_{IC} , K_{IIC} , K_{IIIC} ; P_T – предел текучести материала соответственно: по нормальным напряжениям – σ_T , по касательным – τ_T .

С целью обобщения в формуле (1) не используется поправочная функция или коэффициент на место и положение трещины в поперечном сечении детали. Как видно из формулы (1), на критическую глубину трещины влияют два параметра – это коэффициент интенсивности напряжений (КИН) и предел текучести материала, которые для каждого материала являются константой. Учитывая то, что КИН существует трех типов, в статике при нормальных условиях эксплуатации критическая глубина трещины в основном зависит от вида деформации детали, то есть от вида нагружения и класса материала. Однако при росте трещины с поверхности материала следует иметь в виду тот факт, что предел текучести на поверхности материала не совсем соответствует пределу текучести всего массива детали. В зависимости от поверхностной обработки после поверхностного пластического деформирования он может быть выше табличного, то есть интегрального предела текучести материала. Более того, для детали, характеризующейся наличием конструктивных концентраторов, критическое значение КИН непостоянно. Формула (1) для критической глубины усталостной трещины, кроме тех составляющих, которые содержит, более не дает ответа на то, что может ещё влиять на предельное состояние детали. В таком случае рассмотрим докритическое состояние детали и факторы, от которых зависят напряжения вдали от трещины, т.е. номинальные напряжения при статическом нагружении детали.

Центральное растяжение-сжатие. При центральном растяжении-сжатии в гладкой рабочей зоне нормальные напряжения определяются отношением действующей силы F к площади поперечного сечения A :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Площадь поперечного сечения зависит от формы. Квадратное сечение определяется квадратом стороны – a^2 , прямоугольное сечение зависит от произведения размеров ширины b и высоты h , цилиндрическое – от квадрата диаметра d^2 , кольцевое – от квадратов наружного диаметра D^2 и внутреннего d^2 . Следовательно, если (2) подставить в (1), то при центральном растяжении-сжатии геометрический фактор, влияющий на составляющую величину напряжений в формуле (1) определяется второй степенью произведения площадных линейных размеров прямоугольного сечения, или четвертой степенью стороны квадратного сечения, или же диаметра круглого сечения детали. Для кольцевого сечения формула для

докритической глубины трещины примет следующий вид:

$$a = \pi \frac{K_I^2}{4F^2} \left(1 - \left\{ \frac{d}{D} \right\}^2 \right)^2 D^4, \quad (3)$$

При наличии конструктивного концентратора в детали при её нагружении предельное состояние достигается быстрее. Это является кинетическим фактором. Но формула (1) не отражает этот факт, так как в ней напряжения используются вдали от трещины – на бесконечности, то есть номинальные. Однако аналогичные детали с конструктивным концентратором разрушаются при меньших номинальных напряжениях. В тоже время отношение разрушающих напряжений детали без концентратора к разрушающим напряжениям с концентратором определяют так называемый эффективный коэффициент концентрации напряжений. Тогда номинальные напряжения на бесконечности для детали с конструктивным концентратором можно выразить через отношение номинальных напряжений без концентратора к эффективному коэффициенту концентрации напряжений K_σ .

Самыми распространёнными концентраторами являются галтельные переходы, а также мелкие и глубокие кольцевые выточки, которые могут быть как полукруглыми, так и другой формы без резких изменений своей геометрии, то есть без острых и прямых углов, которые снижают эксплуатационную эффективность таких деталей. Таким образом, можно сказать, что физическим фактором, влияющим на кинетику трещины является эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ , который, в свою очередь, всегда можно выразить через теоретический коэффициент концентрации напряжений α_σ и коэффициент чувствительности материала к концентрации напряжений q_σ по формуле Петерсона [9]

$$K_\sigma = 1 + q_\sigma (\alpha_\sigma - 1) \quad (4)$$

При центральном растяжении-сжатии детали кольцевого поперечного сечения с конструктивным кольцевым надрезом предельное состояние для трещины в этом случае может быть выражено формулой (5).

$$a_{cr} = \pi \frac{K_{IC}^2 K_\sigma^2}{4F_{cr}^2} \left(1 - \left\{ \frac{d}{D} \right\}^2 \right)^2 D^4, \quad (5)$$

где F_{cr} – разрушающая, или критическая, сила детали с конструктивным концентратором.

Из (5) выходит интересное следствие: чем больше эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ , тем большую глубину медленно растущей трещины выдерживает деталь с конструктивным концентратором в рабочей зоне.

И действительно, ниже будет приведен пример сравнения реальных изломов аналогичных образцов с разной степенью концентрации напряжений.

Изгиб. Как правило, для определения вязкости разрушения при изгибе используется трехточечное приложение нагрузки, то есть трехточечный изгиб брусков прямоугольного сечения с односторонним надрезом, что определяется ГОСТ 25.506-85. При изгибе нормальные напряжения определяются по формуле (4).

$$\sigma = \frac{M}{W_{н.о.}} \quad (6)$$

где: M – изгибающий момент; $W_{н.о.}$ – момент сопротивления поперечного сечения детали изгибу относительно нейтральной оси.

Очевидно, что момент сопротивления для простых сечений, таких как квадратное, прямоугольное, круглое, кольцевое зависит от линейного размера в третьей степени. Приведем лишь формулу момента сопротивления для кольцевого сечения, как наиболее информационно ёмкую:

$$W_{i.i.} = \frac{\pi D^3}{32} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right) \quad (7)$$

Тогда при изгибе детали с кольцевым сечением с гладкой рабочей зоной формула до критической глубины трещины примет следующий вид:

$$a = \pi \frac{K_I^2}{1024M^2} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right)^2 D^6 \quad (8)$$

Из (8) видно, что при росте трещины влияние оказывает не только линейный размер D в шестой степени, как геометрический фактор, но и отношение диаметров, максимальная степень которого равна восьми. Опираясь на вышеописанные рассуждения, запишем формулу глубины трещины для предельного состояния при изгибе

детали с конструктивным кольцевым концентратором:

$$a_{cr} = \pi \frac{K_{IC}^2 K_{\sigma}^2}{1024M_{cr}^2} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right)^2 D^6 \quad (9)$$

где M_{cr} – критический изгибающий момент детали с конструктивным концентратором.

Кручение. При кручении валов круглого и кольцевого сечения анализ эквивалентный приведенным выше рассуждениям за тем исключением, что при кручении действуют касательные напряжения, определяются формулой (10).

$$\tau = \frac{M_k}{W_{\rho}} \quad (10)$$

где: M_k – крутящий момент, W_{ρ} – полярный момент сопротивления.

Полярным момент сопротивления для круглых и кольцевых сечений в два раза больше момента сопротивления при изгибе. При росте трещины до предельного состояния для кольцевого сечения детали с конструктивным кольцевым надрезом при кручении формула для глубины трещины имеет вид (11)

$$a_{cr} = \pi \frac{K_{III}^2 K_{\tau}^2}{624M_{kcr}^2} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right)^2 D^6 \quad (11)$$

Таким образом, рассматривая статическое нагружение с одновременным медленным ростом трещины до предельного состояния детали, на критическую глубину трещины влияют взаимосвязанные между собой факторы, представленные в виде диаграммы на рис. 1. Однако при переменном нагружении деталей на критическую глубину усталостной трещины оказывают влияние дополнительные факторы, что требует более пристального внимания к оценке предельного состояния.

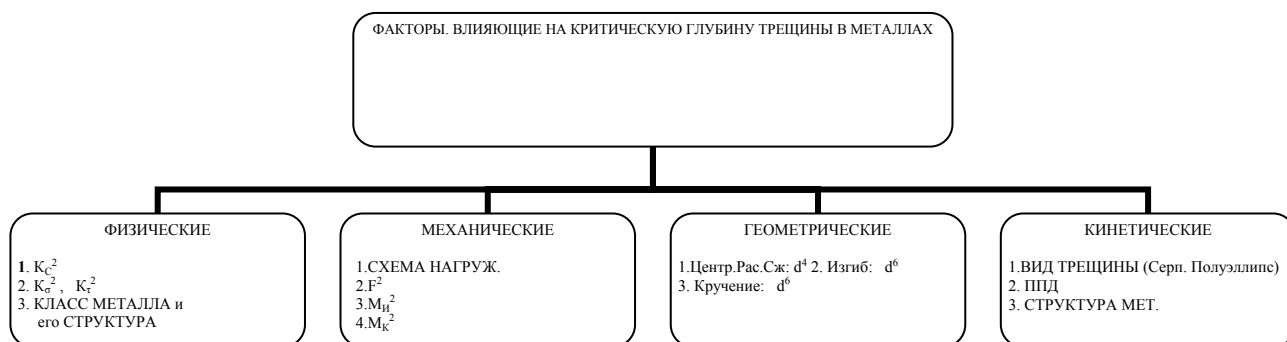


Рис. 1. Комплексное взаимодействие факторов, влияющих на критическую глубину трещины в условиях статического нагружения

Циклическое нагружение. Рассмотрим факторы, влияющие на критическую глубину усталостной трещины при многоцикловом нагружении. В условиях многоциклового нагружения материал деталей становится более чувствительным к физическим, геометрическим и кинетическим параметрам, что в существенной степени влияет на медленно растущую усталостную трещину. Такие усталостные трещины называются короткими [5]. Фактически, предельное состояние детали без конструктивного концентратора, то есть с гладкой рабочей зоной, но с трещиной в условиях многоциклового нагружения будет достигаться при пределе выносливости материала по разрушению P_{-I} : по нормальным напряжениям – σ_{-I} , по касательным – τ_{-I} . Для детали с концентратором соответственно $P_{-I\delta}$: $\sigma_{-I\delta}$, $\tau_{-I\delta}$. В этом случае критическая глубина усталостной трещины будет выражена формулой (2).

$$a_{cr} = \frac{K_{fc}^2}{\pi D_{-I\delta}^2} \quad (12)$$

где: K_{fc} – критическое значение интенсивности напряжений при многоцикловой усталости.

Предел выносливости деталей $P_{-I\delta}$ (13) в общем виде, т.е. с учетом асимметрии цикла, зависит от физических, геометрических и механических характеристик материалов деталей. На сегодняшний день они выражаются коэффициентами, полученными экспериментально, в основном, в зависимости от предела прочности материалов.

$$P_{-I\delta} = (P_{-I} - \psi_P P_m) \frac{K_d K_F K_V}{K_P} \quad (13)$$

где: ψ_P – коэффициент влияния асимметрии цикла; P_m – средние напряжения асимметрии цикла; K_P – эффективный коэффициент концентрации напряжений, равный отношению пределов выносливости без концентрации P_{-I} напряжений к пределу выносливости с концентрацией напряжений $P_{-I\delta}$; K_d – коэффициент влияния размеров поперечного сечения; K_F – коэффициент влияния поверхностной обработки рабочей зоны детали; K_V – коэффициент влияния поверхностного пластического деформирования или химико-термической обработки, цементации, азотирования, т.д.

Вышеприведенные коэффициенты получены путем накопления систематизации и осмысливания экспериментальных данных [10] и сведены в графики, зависящие от предела прочности материала σ_s , описание которых возможно с помощью полиномов четвертой степени. В случае симметричного цикла, как наиболее тяжелого с точки зрения несущей способности детали, формула (13) примет вид (14)

$$P_{-I\delta} = P_{-I} \frac{K_d K_F K_V}{K_P} \quad (14)$$

Подставив (14) в (12), получим формулы критической глубины усталостной трещины для всех трех типов:

$$\begin{aligned} a_{cr} &= \frac{1}{\pi} \frac{K_{fcI}^2 K_{\sigma}^2}{\sigma_{-I}^2} (K_d K_F K_V)^{-2}, \\ a_{cr} &= \frac{1}{\pi} \frac{K_{fcII}^2 K_{\tau}^2}{\tau_{-I}^2} (K_d K_F K_V)^{-2}, \\ a_{cr} &= \frac{1}{\pi} \frac{K_{fcIII}^2 K_{\tau}^2}{\tau_{-I}^2} (K_d K_F K_V)^{-2} \end{aligned} \quad (15)$$

В формулах (15) пределы выносливости материалов σ_{-I} , τ_{-I} как правило выражены конечными экспериментальными значениями чисел в мега Паскалях. Но, при докритических амплитудах напряжений можно записывать, используя формулы (2), (6), (10). Тогда при переменных напряжениях в формулы (9) и (11) добавляются множители $(K_d K_F K_V)^{-2}$ формул (15). Объективно в формулах (9), (11) и (15) выражены все физические, геометрические и кинетические факторы, оказывающие влияние на критическую глубину медленно растущей усталостной трещины.

При многоцикловой усталости особо необходимо отметить взаимосвязь коэффициента влияния абсолютных размеров K_d с эффективным коэффициентом концентрации напряжений K_P . В условиях концентрации напряжений кристаллическая структура металлов чувствительна к скорости убывания местных максимальных напряжений P_{max} в зоне конструктивного концентратора, определяемых произведением номинальных напряжений P_a и теоретическим коэффициентом концентрации напряжений a_P . Скорость убывания местных напряжений определяется их градиентом. Чем больше градиент, а напряжения при этом по мере удаления от очага концентрации напряжений быстро падают, тем меньше элементов кристаллической структуры участвуют в «перенапряжении» локальной зоны – тем меньше вероятность образования усталостной трещины [11]. Кроме этого, на образование усталостной трещины влияет линейная протяженность очага концентратора, которая для кольцевого надреза или галтели равна длине окружности опасного сечения [10]. Чем больше линейная протяженность очага концентратора, тем больше элементов кристаллической структуры участвуют в «перенапряжении» локальной зоны – тем больше вероятность возникновения усталостной трещины. Как видно, два фактора K_P и K_d тесно связаны со структурой металлов, которая определяет кинетические особенности роста усталостной трещины. Поэтому в таких концентраторах как напесованное внутреннее кольцо подшипника на

вал определяется сразу отношение K_p / K_d по эмпирической зависимости от диаметра опасного сечения, которую можно описать полиномом четвертой степени.

Следует отметить также тот факт, что особенность медленного роста усталостной трещины заключается в том, что достижение её критических размеров совпадает с пределом выносливости детали по разрушению. Следовательно, период развития медленно растущей усталостной трещины ограничивается диапазоном амплитуд напряжений от предела выносливости по первой макро трещине, или иначе, по третинообразованию σ_{-ITP} [12] до предела выносливости детали σ_{10} , и определяется количеством циклов многоциклового усталости N , за которое трещина достигает критического размера, превышение которого приводит к мгновенному разрушению детали.

Из вышеописанного следует, что:

1. При простых видах деформаций критические значения глубин медленно растущих усталостных трещин отличаются от выражения при статическом нагружении произведением поправочных коэффициентов $(K_d K_F K_V)^{-2}$, зависящих от предела прочности материалов, графические зависимости которых легко описываются полиномами 4-ой или 6-ой степени;
2. При центральном растяжении-сжатии критическая глубина трещины зависит от линейного размера опасного сечения в 4-ой степени;
3. При изгибе и кручении критическая глубина трещины зависит от линейного размера опасного сечения в 6-ой степени;
4. Критическая глубина трещины в образцах с конструктивным концентратором отличается от образцов с гладкой рабочей зоной произведением эффективного коэффициента концентрации напряжений во второй степени;
5. Отношение КИН к критическому силовому фактору, определяемому видом нагружения, всегда записывается во второй степени при расчетах критических глубин трещин;
6. При циклическом нагружении критические силовые факторы, такие как F_{cr} , M_{cr} , M_{kcr} , соответственно при растяжении-сжатии, изгибе и кручении, существенно меньше аналогичных значений при статическом нагружении [8].

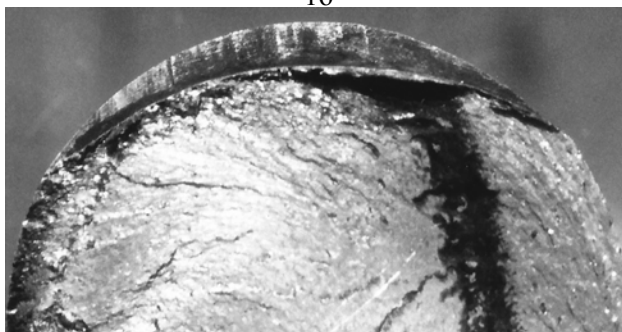
Изломы с медленно растущими усталостными трещинами. На рис. 2 представлены усталостные изломы.



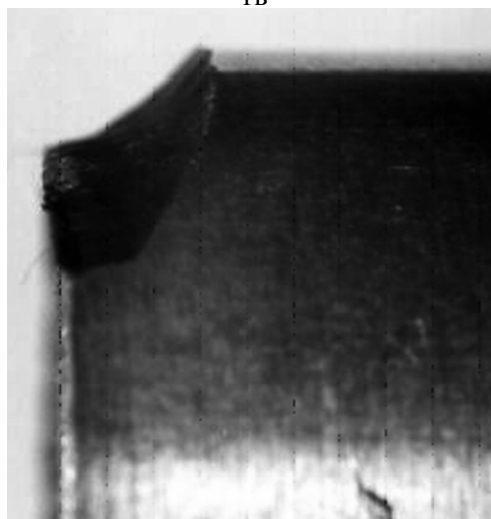
1а



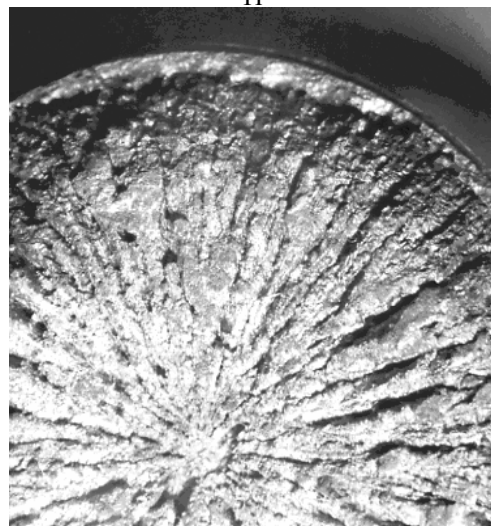
1б



1в



1г



1д

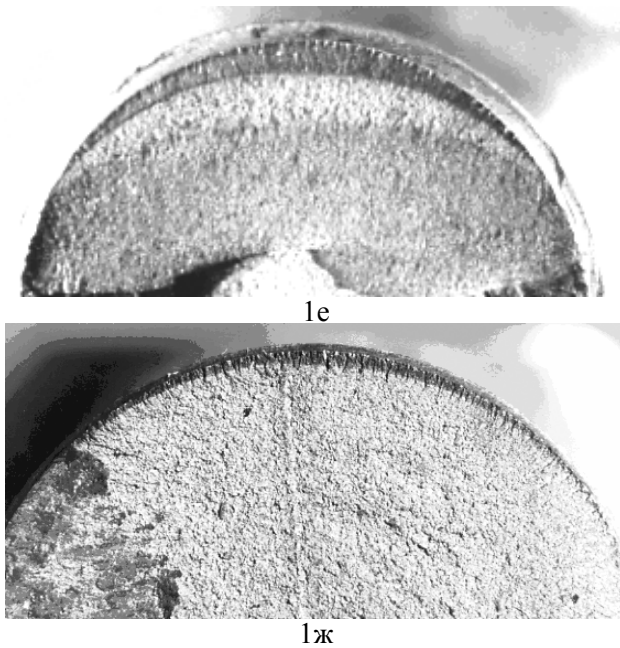


Рис. 2. Усталостные изломы при изгибе и кручении с медленно растущей усталостной трещиной из различных металлов:

а) алюминиевый сплав Д16Т, $D=25$ мм, кольцевой надрез радиусом 0,3 мм, серповидная трещина по типу III глубиной 0,9 мм, изгиб; б) сталь 45, $D=25$ мм, $d=20$ мм, V-образный надрез, кручение; в) алюминиевый сплав Д16Т, $D=25$ мм, серповидная трещина по типу III у галтельного перехода глубиной 3,5 мм, изгиб; г) вид в сбоку, изгиб; д) сталь 45, $D=25$ мм, кольцевой надрез $r=0,3$ мм, кручение; е) сталь 45, $D=25$ мм, кольцевой надрез радиусом 1,0 мм, серповидная трещина комбинированного типа III+I глубиной 1,2 мм без пластической зоны на линии фронта, изгиб; ж) легированный сплав ЭИ961Ш, $D=25$ мм, кольцевой надрез радиусом 0,3 мм, серповидная трещина по типу I глубиной 0,4 мм, изгиб.

Фрактографический анализ изломов образцов одинакового диаметра свидетельствует о том, что в материалах различных классов при изгибе медленно растущая усталостная трещина по типу I сформировалась только в вязком легированном сплаве ЭИ961Ш. Отношение максимальной глубины трещины к диаметру опасного сечения составляет 0,018 (см. рис. 2ж). В то же время в образце с таким же кольцевым надрезом из алюминиевого сплава Д16Т на рис. 2,а максимальная глубина медленно растущей серповидной трещины в 4 раза больше, чем в сплаве ЭИ961Ш. К тому же, как видно на рис. 2,а трещина при изгибе имеет тип III вопреки ожиданию трещины по типу I, что, очевидно, является структурными особенностями сплава Д16Т. Отношение максимальной глубины трещины к диаметру опасного сечения с галтельным переходом у сплава Д16Т составляет 0,074 (см. рис. 2в). Сравнение медленно растущей усталостной трещины в сплаве Д16Т в сечении мелкого кольцевого надреза радиусом 0,3 мм и серповидной медленно растущей усталостной трещиной в зоне галтельного перехода (см. рис. 2, в и г) свидетельствует о том, что при изгибе у них одинаковый III тип трещины. Но максимальная глубина односторонней серповидной трещины в

зоне галтельного перехода с теоретическим коэффициентом концентрации напряжений $\alpha_\sigma=3,0$ почти в два раза больше максимальной удвоенной глубины симметричных серповидных трещин в зоне мелкого кольцевого надреза с теоретическим коэффициентом концентрации напряжений $\alpha_\sigma=2,0$. Данные результаты обосновываются степенью концентрации напряжений. Отношение максимальной глубины односторонней серповидной трещины в сечении кольцевого надреза в сплаве Д16Т составляет 0,037, в то время как отношение удвоенной глубины двух симметричных трещин к диаметру опасного сечения составляет 0,066.

В стали 45 при изгибе максимальная глубина серповидной трещины составляет 1,2 мм. В процессе испытаний по симметричному циклу одновременно развивались две симметричные трещины, у одной из которых в нижней части образца серповидная трещина перешла в полуэллиптическую. Отношение удвоенной глубины серповидной трещины к диаметру опасного сечения в стали 45 составляет 0,104. Естественно, что отношение максимальной глубины одной серповидной трещины к диаметру опасного сечения составляет 0,052. Однако отношение суммарной глубины двух серповидных трещин и одной полуэллиптической к диаметру опасного сечения составляет 0,204.

При кручении в стали 45 (см. рис. 2, б, д) образцов с глубоким V-образным надрезом и мелким кольцевым полукруглым надрезом радиуса 0,3 мм вопреки ожидания медленно растущих трещин по типу III образовались одинаковые трещины по типу I глубиной примерно 1,0 мм и 1,5 мм соответственно. Если рассматривать полную глубину трещины с диаметрально противоположных сторон, то отношение трещины к диаметру опасного сечения для V-образного надреза составляет 0,15, а для мелкого кольцевого надреза – 0,082.

Приведение суммарных глубин медленно растущих усталостных трещин к размеру опасного сечения является обычной практикой в машиностроении. Широкий разброс этих отношений от 0,02 до 0,2 при одинаковом наружном диаметре образцов из разных сплавов и с различными концентраторами напряжений свидетельствует о сложном характере взаимодействия физических, геометрических и кинетических факторов на формирование критической глубины медленно растущей усталостной трещины. Однако интегральную коррекцию вносит квадрат отношения соответствующего КИН к силовому фактору, соответствующему виду нагружения: силе, изгибающему моменту, крутящему моменту. Здесь, все-таки, можно отметить однозначную экспериментальную и аналитическую закономерность, исходя из формул (15): чем выше эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ , выраженный через больший теоретический коэффициент концентрации напряжений α_σ , тем больше критическая глубина медленно растущей трещины.

Данный факт позволяет ставить вопрос о возможности теоретически обоснованной безопасной эксплуатации деталей с усталостной трещиной, что, в свою очередь, требует создания новой теоретической базы для перехода на принцип проектирования деталей по их безопасному повреждению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кудрявцев, П.И. Нераспространяющиеся усталостные трещины. – М.: Машиностроение, 1982. 174 с.
2. Филин, А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Т.1. – М.: Наука, 1975. 832 с.
3. Черепанов, Г.П. Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974. 640 с.
4. Троценко, В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочник / В.Т. Троценко, Л.А. Соколовский. – Киев: Наукова Думка, 1987, т. 1. 510 с.
5. Шаняевский, А.А. Безопасное усталостное разрушение элементов авиаконструкций. – Уфа: «Издат. на-учн.-технич. лит-ры “Монография “», 2003. 802 с.
6. Кольцун, Ю.И. Прогнозирование поверхности усталостного излома. Гипотеза плоских продольных сечений / Труды VI Междунар. НТК. – СПб: СПбГПУ, 2005. С. 248-252.
7. Пестриков, В.М. Механика разрушения твердых тел / В.М. Пестриков, Е.М. Морозов. – СПб.: Профессия, 2002. 300 с.
8. Нейбер, Г. Концентрация напряжений. Под ред. А.И.Лурье. – М.: ОГИЗ-Гостехиздат, 1947. 204 с.
9. Петерсон, Р.Е. Коэффициенты концентрации напряжений. – М.: Мир, 1977. 302 с.
10. Когаев, В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1977. 232 с.
11. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1986. 512 с.
12. Кольцун, Ю.И. Прогнозирование предела выносливости по образованию первой макротрещины при изгибе. Вестник СГАУ. Спец.вып.- Самара: СГАУ, 2003. С. 222-226.

THE ANALYSIS OF FEATURES OF SLOW GROWTH OF FATIGUE CRACKS IN METALS

© 2011 Yu.I. Koltsun, D.P. Podlesnova

Power and Transport Institute of Samara State Aerospace University – National Research University

In paper the theoretical analysis of features of development the slow growth fatigue cracks in zones of dangerous section of the details saving a carrying capacity in machines safe resource is presented. Fatigue breaks with various critical depths of slow growth fatigue cracks as result of complex influence of interdependent factors at curving and torsion on symmetric cycle of identical samples are reduced. It is established that at normal temperature and frequency of 19,5 Hz critical depth of fatigue crack depends on type and scheme of loading, structure and viscosity, class of materials, degree of strength concentrations, the size of dangerous section, loading amplitude.

Key words: *fatigue crack, coefficient of strength intensity, metal structure, curving, torsion, amplitude, frequency, viscosity*