

УДК 620.178.3

В.М.Дуплякин, С.Н.Пери

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ МАТЕРИАЛА IX18N9T.

Большинство экспериментальных исследований механических характеристик, в частности, характеристик усталостной прочности проводится на стандартных лабораторных образцах. Однако практически более важным случаем является оценка долговечности реальных деталей, которые отличаются от образцов сложной конфигурацией опасных сечений и изготовлены с допусками, обеспечиваемыми серийной технологией. Даже идентичность термообработки и состояния поверхности не позволяют проводить достаточно простую аналогию между развитием усталостного повреждения в образце и в детали.

Использование нестандартных тщательно изготовленных образцов со сложными опасными сечениями позволяет моделировать условия разрушения деталей, исключив влияние нестабильности серийной технологии производства реальных деталей. Поэтому экспериментальные исследования усталостного разрушения образцов со сложными опасными сечениями занимают промежуточное положение между испытаниями обычных образцов и деталей.

Проведение таких исследований должно обеспечивать получение более полной информации о развитии усталостного разрушения, чем при проведении обычных испытаний на выносливость. В данной статье рассматривается методика испытаний, которая при использовании технических средств, имеющихся в любой лаборатории, позволяет получить расширенные данные о распространении усталостных трещин.

В качестве примера обратимся к исследованию усталости нестандартных образцов из стали IX18N9T, работающих в условиях симметричного знакопеременного изгиба (рис.1). Испытания проводились на электродинамическом стенде, допускающем одновременную установку четырнадцати образцов. Нагружение осуществлялось с частотой 10 гц при автоматическом обеспечении постоянной амплитуды прогиба образца ("жесткое нагружение").

Полученные результаты представлены на рис.2 в виде кривых усталости по моменту появления первых макротрещин (⊙) и по

момента окончательного разрушения (x). Кривые усталости проведены по методу наименьших квадратов и соответствуют вероятности $\approx 50\%$. Кроме того, на этом рисунке показаны средние значения диапазоны рассеивания логарифмов числа циклов нагружения, соответствующие выбранным максимальным номинальным напряжениям, подобранным для опасного сечения. Появление первых макротрещин длиной $0,05-0,1$ мм регистрировалось визуально с помощью микроскопа с применением проникающих красок. В этих испытаниях, проведенных и обработанных по обычной методике, использовано 69 образ-

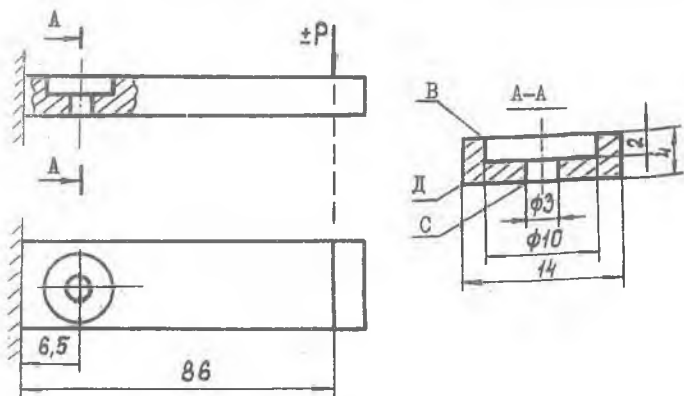


Рис. 1

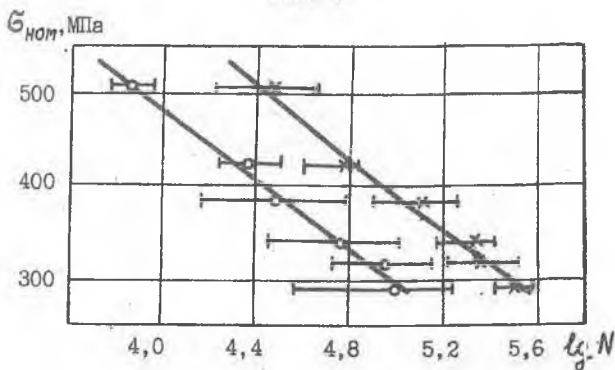


Рис. 2

Полученные таким образом данные можно расширить, если провести дополнительные испытания. Для этого выбрали несколько уровней нагружения, при которых $\sigma_{ном} = 444, 341$ и 282 МПа, после чего были проведены усталостные испытания 10-12 образцов на каждом из этих уровней. Эти образцы последовательно снимались со стенда таким образом, чтобы в них проросли трещины разной длины. После соответствующей наработки проводилась статическая тарировка образцов, т.е. замерялась сила, вызывающая рабочий прогиб в направлении обоих возможных перемещений.

Затем образцы разрывались на типовой испытательной машине, используемой для снятия диаграммы растяжения. При этом следует обеспечить уменьшение пластических деформаций в рабочей зоне образца. С этой целью применялась повышенная скорость нагружения и охлаждение образца жидким азотом. Скорость нагружения и температура охлаждения подбирались опытным путем, исходя из имеющихся возможностей. При пятикратном увеличении полученных изломов на фотографиях отчетливо выявились границы зон усталостного разрушения, что позволило определить картину развития разрушения, показанную схематично на рис.3. Как видно из этого рисунка, развитие повреждения до определенной стадии происходит независимо от уровня нагружения, а затем появляются отличия.

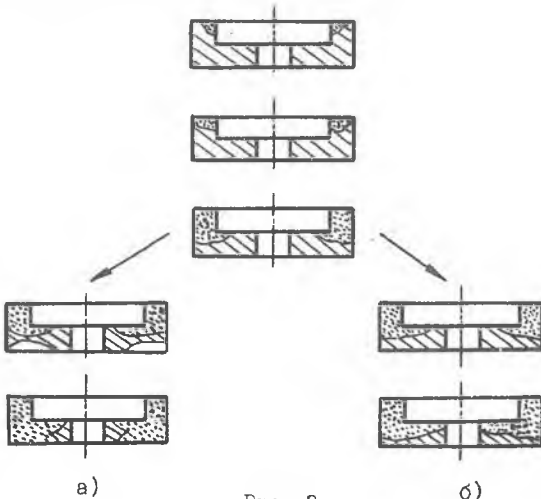


Рис. 3

При высоком уровне нагружения $\sigma_{ном} = 444 \text{ МПа}$ (а) на последней фазе процесса разрушения происходит частичное слияние трещин, сближающихся в верхней и нижней частях опасного сечения. При более низких уровнях нагружения (б) имеет место одностороннее развитие трещин вплоть до разрушения. Всего для выяснения картины разрушения было использовано 33 образца.

Во всех образцах первые макротрещины возникали в окрестности точки "В", показанной на рис.1. Возникновение трещины в зоне действия более "слабого" концентратора напряжений (в точке "В" теоретический коэффициент концентрации напряжений $\alpha_{\sigma} = 1,21$, а в точке "С" $\alpha_{\sigma} = 1,72$) объясняется тем, что величина номинальных напряжений в точке "В" в 1,61 раза больше, чем в точке "С".

Так была определена качественная картина развития усталостных трещин в рассматриваемых образцах. Если сравнить тарировку образцов с трещинами с тарировкой неповрежденных образцов, то получим количественные данные об изменении изгибающего момента, действующего в опасном сечении образца. Изгибающий момент изменяется в результате уменьшения жесткости и, следовательно, несущей способности образца по мере развития усталостного повреждения. При этом прогиб образца поддерживается постоянным.

В качестве меры изменения несущей способности образца введем коэффициент $\xi = M_i/M_0$, показывающий отношение изгибающего момента поврежденного образца на некоторой стадии разрушения к величине изгибающего момента неповрежденного образца, обеспечивающего такой же прогиб. Очевидно, что $\xi = P_i/P_0$, где P_i и P_0 - значения усилий, полученные при статических тарировках. Значения коэффициентов изменения изгибающего момента представлены графически на рис.4, 5 в зависимости от относительной поврежденной площади опасного сечения \bar{F} , которая определялась по фотограмметрическим изломам.

На рис.4 показаны данные, соответствующие полциклу нагружения, при котором трещины в окрестности точки "В" (рис.1) раскрылись, а на рис.5 представлены данные, соответствующие закрытию этих трещин, причем в последнем случае выбраны такие образцы, у которых в районе точки "Д" трещины еще не возникли ($+\sigma_{ном} = 444 \text{ МПа}$, $\bullet - 341 \text{ МПа}$, $\circ - 288 \text{ МПа}$).

Приведенные результаты отражают количественную сторону развития усталостного разрушения. Здесь можно сделать некоторые выводы.

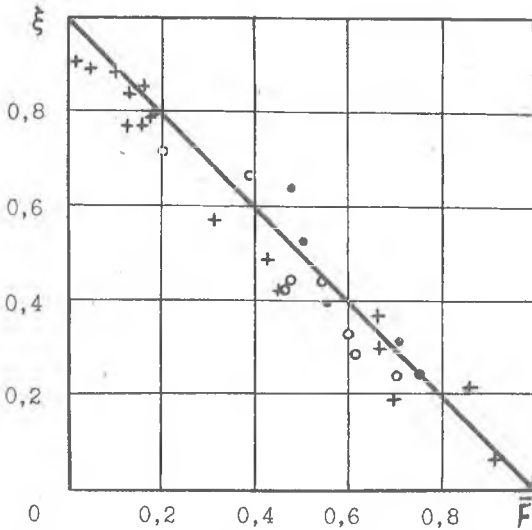


Рис. 4

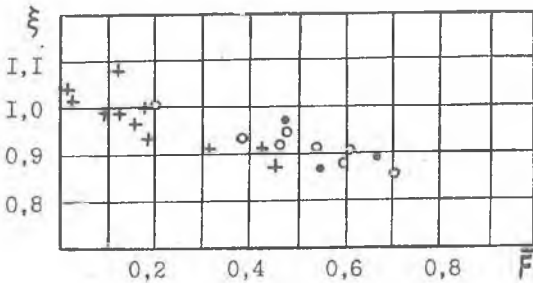


Рис. 5

Во-первых, как видно из рис.4, 5, изменение коэффициента ξ по мере развития усталостных трещин не зависит от уровня нагружения. Во-вторых, зависимость $\xi = \xi(\bar{F})$ при раскрытии наиболее глубоких трещин (рис.4) близка к линейной. Кроме того, весьма интересные данные представлены на рис.5. Они показывают, что при закрытии

трещин жесткость образца полностью не восстанавливается. Это приводит к "притиранию" берегов трещин.

В заключение можно отметить, что незначительное усложнение методики усталостных испытаний даже при использовании ударного оборудования позволяет получить дополнительную качественную и количественную информацию о процессе усталостного разрушения.

ДК БЗ9.431.3:533.59:629.7.018.04

Н.И.Гадалин, А.Г.Саноян

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА

Длительное разрушение конструкционных материалов можно рассматривать как результат последовательного накопления повреждений на атомном уровне. В этой связи скорость разрушения материалов будет определяться кинетикой физико-химических процессов, протекающих в материале в процессе срока службы.

Предположим, что начальному состоянию объекта соответствует значение технического параметра S_0 , величина которого обусловлена структурой и химическим составом объекта. В качестве S_0 могут быть выбраны механические, электрические, теплофизические и другие параметры. В процессе срока службы значение параметра S будет изменяться от S_0 тем больше, чем выше интенсивность протекающих в объекте элементарных атомных процессов, таких как диффузия, перемещение и скопление дислокаций, химические процессы и другие явления.

Введем в рассмотрение понятие обобщенной глубины α протекающих элементарных атомных процессов, вызывающих старение объекта по параметру S . Таким образом, параметр S может быть представлен в виде

$$S = \varphi(\alpha). \quad (I)$$

Очевидно, что при $t = 0$ имеет место $\alpha = 0$, а $\varphi(\alpha) = S_0$.