

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 622.023.2:004.42

И.А. Паначев, М.Ю. Насонов, А.Б. Желтышев

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ЭКСКАВАТОРОВ ПРИ НАЛИЧИИ СВАРОЧНЫХ ДЕФЕКТОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

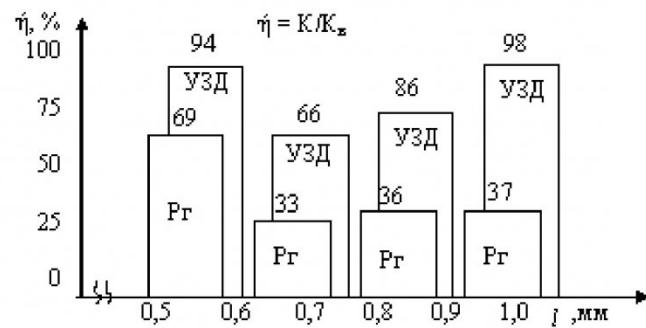
Научно-технический прогресс в производстве сварных конструкций и решении задач по поддержанию их высокой эксплуатационной надежности требуют совершенствования и более широкого использования неразрушающего контроля, который является одним из важнейших способов получения информации о надежности оборудования, применяемого на опасных производственных объектах. Её качество, достоверность и оперативность оценки в значительной мере определяют эффективность обеспечения промышленной безопасности. Организация деятельности по неразрушающему контролю осуществляется в рамках Системы экспертизы промышленной безопасности, создание которой — одно из направлений реализации Федерального закона от 21.07.97 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Особую роль неразрушающего контроля обуславливает задача обеспечения промышленной безопасности в условиях продолжающегося износа оборудования на опасных производственных объектах и отсутствия средств на его замену и реконструкцию.

Среди методов неразрушающего контроля наиболее распространены ультразвуковые как высокоэффективные, надежные, универсальные, сравнительно простые и недорогие [1]. Так как ультразвуковой контроль не требует двух-

стороннего доступа к сварным швам, что особенно важно при контроле конструкций во время эксплуатации машин, возможен контроль практически всех

вания и безопасной работы шагающего экскаватора. Ситуация, связанная с необходимостью прогнозирования разрушения металлоконструкций шагающих

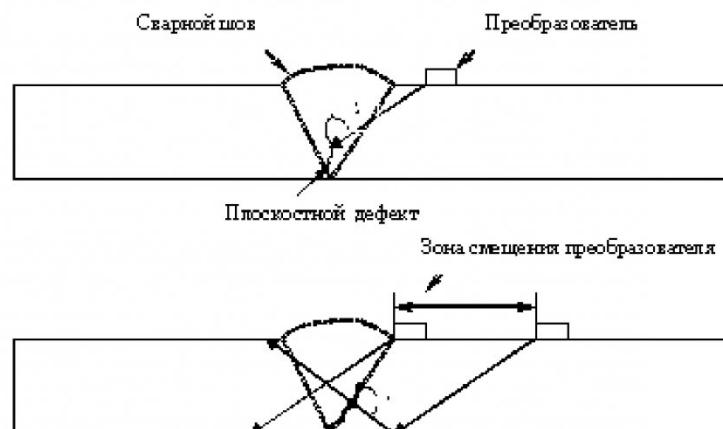


Rис. 1. Статистическая выявляемость $\dot{\eta}$ плоскостных дефектов в сварных соединениях ультразвуковой дефектоскопией (УЗД) и радиографией (Рг) в зависимости от его размера ℓ ; K — общее количество дефектов; K_e — количество выявленных

встречающихся сварных соединений (более 95 % общей протяженности швов) (рис. 1).

В связи с этим возникает задача о допустимости обнаруженных дефектов с точки зрения нормального функциониро-

вания экскаваторов, а также с оценкой риска эксплуатации в условиях неполноты и неопределенности информации о качестве и состоянии металлоконструкций, является постоянно действующим фактором. Одним из воз-



Rис. 2. Схема контроля сварного шва ультразвуковым способом

можных способов реализации прогноза в условиях неопределенности исходной информации является вероятностный подход.

В металлических конструкциях шагающих экскаваторов присутствуют дефекты различных типов (объемные и трещиноподобные поверхностные и подповерхностные дефекты, поры, непровары, коррозионные и эрозионные язвы и т.п.). Проведенные исследования показа-

ской промышленности принято считать нормальной степенью риска 12%, поэтому для металлоконструкций машин в горной промышленности, где степень риска выше, для списания вполне можно принять этот уровень,

Ситуации, при которых вероятность разрушения машины подходит к опасному уровню, необходимо распознавать заранее и желательно как можно более простым способом. С

стюю $H_1(l^*)$ необнаружения допустимого дефекта. При наличии группы дефектов одного типа вероятность разрушения определяется вероятностью $H(l)$ не обнаружения хотя бы одного недопустимого дефекта l с опасными размерами.

Таким образом, для оценки вероятности разрушения металлоконструкций по результатам неразрушающего контроля нужно уметь вычислять вероятность необнаружения недопустимых дефектов $H(l)$.

Для ультразвукового метода неразрушающего контроля, применительно к сварным соединениям нижнего пояса стрелы шагающего экскаватора ЭШ 10/70, принятые к рассмотрению дефекты, амплитуды эхосигналов которых превышают браковочный уровень чувствительности +6 дБ или нормы по условной длине (более 70 мм), а также имеющие признаки трещин, т.е. дефекты, которые могут развиться до критического размера за период меньший, чем межсмотровый.

Пусть процесс обнаружения дефектов состоит из независимых событий, т.е. обнаружение одного дефекта не влияет на процедуру обнаружения других дефектов - множество дефектов образует пуссоновский поток. Здесь вероятность необнаружения недопустимых дефектов одного типа во всех зонах (контролируемых и неконтролируемых) [2]

$$Qk(l) = \frac{v^k(l)}{k!} \cdot \exp[-v(l)], \\ k=1,2,\dots, \quad (1)$$

где k – тип дефекта, $v(l)$ – ожидаемое число необнаруженных в результате контроля дефектов размером больше l :

$$v(l) = \mu(l)[1 - P_a(l)], \quad (2)$$

где $\mu(l)$ – математическое ожидание общего числа дефектов определенного типа, размер которых превышает l ; $P_a(l)$ – вероятность обнаружения в контролируемых и неконтролируемых зонах одного наугад

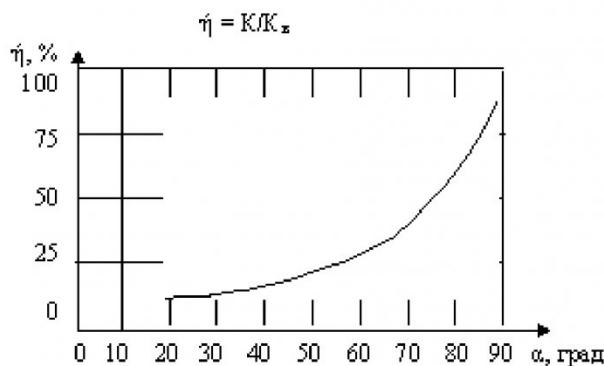


Рис. 3. Статистическая выявляемость $\hat{\eta}$ плоскостных дефектов в сварных соединениях ультразвуковой дефектоскопией (УЗД) в зависимости от отклонения плоскости расположения дефекта от осевой линии луча – α , град (K – общее количество дефектов; K_a – количество выявленных дефектов)

ли, что большинство из них может быть обнаружено, однако существуют дефекты с особым расположением под определенным углом по отношению к сварному шву, которые не могут быть обнаружены неразрушающим контролем (рис. 2).

Если угол встречи ультразвукового луча и дефекта мал ($\alpha = 0-25^\circ$), то степень выявления таких дефектов ультразвуковым методом неразрушающего контроля не более 15 %. (рис. 3).

С увеличением общего числа дефектов увеличивается и число необнаруживаемых. Эти дефекты могут развиваться и приводить к аварийной ситуации. Такие случаи неизбежны даже при тщательном контроле. Если таких случаев мало, то с этим приходится мириться, но, если вероятность таких случаев превышает определенную величину, экскаватор должен быть признан аварийным.

Сегодня в metallurgiches-

учетом этого разработан «экспресс-метод», позволяющий по количеству и размерам обнаруженных дефектов предсказывать вероятность разрушения экскаватора и вовремя принимать решение об его списании.

Если рассматривать только однотипные дефекты, то методами неразрушающего контроля эти дефекты допустимого размера l^* будут обнаружены с вероятностью $P_1(l^*)$ или не обнаружены с вероятностью $H_1(l^*) = 1 - P_1(l^*)$. В первом случае условная вероятность разрушения будет равна нулю, т.к. обнаруженный дефект опасного размера должен быть либо устранен, либо принятые меры для остановки его дальнейшего роста, либо должен быть заменен элемент конструкции с обнаруженным опасным дефектом. Во втором случае условная вероятность разрушения равна 1, а безусловная вероятность разрушения совпадает с вероятно-

взятого дефекта размером больше l .

Вероятность $P_a(l)$ зависит от вероятности $P^*(l)$ обнаружения дефекта на образце, в доступных и недоступных для контроля зонах сварного шва, размером l , локализованного в месте измерения, а также от распределения дефектов по размерам:

$$P_a(l) = \frac{1}{1 - F(l)} \int_l^\infty P^*(l) \cdot p(l) dl \quad (3)$$

где $F(l)$ – функция распределения дефектов по размерам; $p(l) = dF(l)/dl$ – соответствующая плотность вероятности.

Плотность вероятности $p(l)$ вычисляется из выражения

$$p(l) = dF(l)/dl.$$

Вероятность $P^*(l)$ оценивается путем испытаний на эталонных образцах с заданным числом дефектов определенного размера. Ее статистическая оценка равна отношению числа обнаруженных дефектов заданного размера к их общему числу. Для каждого метода неразрушающего контроля и для каждого типа дефектов имеется свой порог обнаружения l_0 , для которого дефекты размером менее l_0 не обнаруживаются с вероятностью, близкой к 1. В качестве аппроксимации для функции $P^*(l)$ можно взять

$$P^*(l) = \begin{cases} 0, & l \leq l_0 \\ 1 - e^{-\lambda(l-l_0)}, & l > l_0 \end{cases} \quad (4)$$

где параметр λ оценивается также экспериментально.

Так, в качестве оценки для параметра λ можно взять величину $\hat{\lambda} = 1/(\hat{l} - l_0)$, где \hat{l} – математическое ожидание раз-

меров обнаруженных дефектов.

Распределение $F(l)$ дефектов по размерам аппроксимируется распределением Вейбулла.

Однако в результате контроля можно подсчитать только обнаруженные дефекты, их математическое ожидание равно

$$k(l) = \mu(l) - v(l) = \mu(l) \cdot P_a(l),$$

откуда с учетом (2) следует

$$v(l) = k(l) \frac{1 - P_a(l)}{P_a(l)} \quad (5)$$

Вероятность $H(l)$ необнаружения недопустимых дефектов всех типов размером больше l :

$$H(l) = \sum_{k=1}^{\infty} Q_k(l) = 1 - e^{-v(l)} \quad (6)$$

и с учетом (5)

$$H(l) = 1 - \exp \left[-k(l) \frac{1 - P_a(l)}{P_a(l)} \right] \quad (7)$$

Итак, вероятность для дефектов одного типа разрушения при постоянном контроле

$$\begin{aligned} H(l^*) &= \\ &= 1 - \exp \left[-k(l^*) \frac{1 - P_a(l)}{P_a(l)} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

Полученные соотношения нетрудно обобщить на случай различных типов дефектов. Если дефекты каждого типа образуют пуссоновский ансамбль, то все дефекты также образуют пуссоновский поток (1) с суммарной интенсивностью:

$$v = \sum_{j=1}^n v_j(l_j^*),$$

где l_j^* – предельный размер j -го типа дефектов; n – число типов.

С учетом (6) для суммарной вероятности разрушения

металлоконструкций имеем

$$H(l) = 1 - \exp \left[- \sum_{j=1}^n v_j(l_j^*) \right] \quad (9)$$

где интенсивности потоков пропущенных при контроле дефектов находятся из (5)

$$v_j(l) = k_j(l) \frac{1 - P_{aj}(l)}{P_{aj}(l)} \quad (10)$$

Соответствующие вероятности обнаружения можно определить из (3)

$$P_{aj}(l) =$$

$$= \frac{1}{1 - F_j(l)} \int_l^\infty P_j^*(l) \cdot p_j(l) dl,$$

где $F_j(l)$ – функция распределения дефектов j -го типа по размерам и соответствующая плотность вероятности $p_j(l)$; $P_j^*(l)$ – условная вероятность обнаружения, оценивается по формуле (4) с пороговым значением l_{0j} и параметром \hat{l}_j для каждого типа дефектов.

Таким образом, для оценки вероятности разрушения при наличии дефектов различных типов и системы их обнаружения нужно знать следующие вероятностные и числовые характеристики:

- функции распределения дефектов по размерам;
- математические ожидания числа обнаруженных дефектов;
- пороговые значения обнаружения;
- параметры системы обнаружения дефектов;
- критические размеры дефектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов Н. Н. Нормирование дефектов и достоверность неразрушающего контроля сварных соединений – М.: ФГУП «НТЦ Промышленная безопасность», 2004 – 180 с.
2. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций – М.: Машиностроение, 1990. – 448с.
3. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. – М.: Мир, 1965 – 450 с.
4. Болотин В.В., Чирков В.П. Асимптотические оценки для вероятности безотказной работы по моделям типа нагрузка-сопротивление//Проблемы машиностроения и надежности машин, 1992, №6.С.3–10.