

УДК 622.02

И.А. Паначев, М.Ю. Насонов, К.В. Антонов

## О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В КОВШАХ ШАГАЮЩИХ ЭКСКАВАТОРОВ

При разработке горных пород одна из главных причин аварий металлоконструкций шагающих экскаваторов – это процесс образования и роста трещин. Одной из наиболее подверженных трещинообразованию металлических конструкций является ковш. В целях предотвращения распространения трещины в ковше до его полного разрушению трещины завариваются с помощью ручной электродуговой сварки. Как правило, на производстве заварка любых трещин в ковше осуществляется на начальной стадии их образования. Однако слишком частые остановки экскаватора с целью устранения трещин снижают его производительность. К тому же выполнение сварных швов всякий раз приводит к возникновению дополнительной концентрации напряжений в области шва. Как известно, наличие концентрации напряжений вызывает трещинообразование. Поэтому чем чаще производится заварка трещин, тем интенсивнее происходит процесс образования и распространения трещин в ковше.

В этой связи возникает необходимость разработки методики, позволяющей оценивать долговечность ковшей экскаваторов при наличии в них трещин, которая устранила бы потребность в частых ремонтах с одной стороны и возможность разрушения ковша – с другой.

В число зон интенсивного трещинообразования в ковше шагающего экскаватора входят область сопряжения его днища и боковой стенки (далее – зона 1), непосредственно примыкающая к режущей кромке, и часть арки ковша в зоне ее сопря-

жения с боковой стенкой (далее – зона 2) (рис.1).

Для изучения напряженно-деформированного состояния ковшей были проведены экспериментальные исследования. На опасные зоны ковшей наклеивались тензорезисторы перпендикулярно линии предполагаемого развития трещин, то есть по направлению главных напряжений. В зоне 1 наклеивались цепочки тензорезисторов с целью фиксирования изменения градиента деформаций по направлению предполагаемого развития трещины и определения изгибной и растягивающей составляющей напряженно-деформированного состояния в исследуемой области. В зоне 2 наклеивались одиночные тензорезисторы, так как в этой области действуют, в основном, растягивающие напряжения. В процессе работы экскаватора запись деформаций велась при помощи шлейфового осциллографа Н-117 и тензоусилителя ТО-ПАЗ-4. Тензорезисторы защищались приваренными поверх них металлическими пластинами. Соединительные провода прикрывались приваренным к ковшу металлическим уголком. Обработка циклограмм деформаций в исследуемых зонах позволила скомпоновать схему блочного нагружения в зависимости от его уровня и частоты.

В результате проведенных на разрезах Кузбасса («Черниговском», «Кедровском», «Красногорском») наблюдений за экскаваторами ЭШ-10/70 и ЭШ-13/50 и анализа теоретических положений механики разрушения авторами было сделано заключение о причинах их образования и роста трещин, а также получены некоторые функциональные зависимости. Эти зависимости позволяют вычислять значения усилий, влияющих на долговечность ковшей экскаваторов:

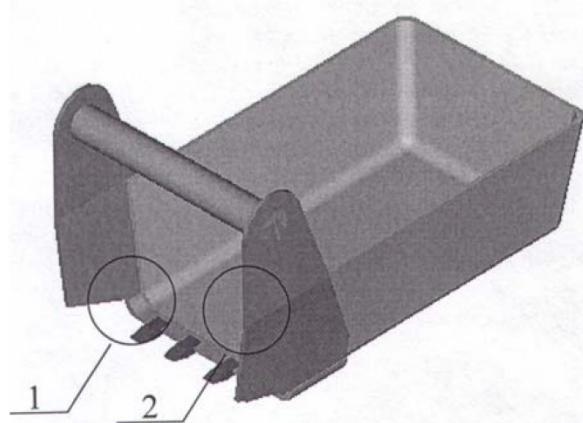
$$q = 2 \cdot h_K \cdot \gamma \cdot \xi \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot K_P (h_K + h_{CTP} K_P) \quad (1)$$

где  $q$  – усилие, прикладываемое к режущей кромке при расчете трещин в зоне 1,  $h_K$  – высота ковша,  $\gamma$  – объемный вес горной породы в невзорванном состоянии,  $\xi$  – коэффициент бокового давления взорванной горной массы,  $\varphi$  – коэффициент внутреннего трения взорванной горной массы,  $h_{CTP}$  – толщина стружки,  $K_P$  – коэффициент разрыхления взорванной горной массы в развале;

$$P = 2(V \cdot \gamma \cdot K_P \cdot K_3 + h_K \cdot \gamma \cdot \xi \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot h_{CTP} K_P) \quad (2)$$

где  $P$  – усилие, прикладываемое к арке ковша при расчете трещин в зоне 2,  $V$  – емкость ковша,  $K_3$  – коэффициент заполнения ковша.

В соответствии с положениями механики раз-



*Рис.1. Зоны интенсивного трещинообразования в ковше. 1 – зона сопряжения боковой стенки и днища, непосредственно примыкающая к режущей кромке; 2 – зона примыкания арки к боковой стенке*

рушения, рост трещин в зоне 1 происходит по схеме 1 (разрыв) или по схеме 3 (продольный сдвиг) в зависимости от смещения трещины в сторону соответственно боковой стенки или днища.

Главной причиной процесса трещинообразования в обеих рассматриваемых зонах являются рывки ковша вверх при взаимодействии его режущей кромки со взорванной горной породой. При этом на ковш передаются значительные динамические нагрузки. По сравнению с этими нагрузками влияние статического давления взорванной горной массы, находящейся в ковше, на его боковые стенки, согласно проведенным исследованиям, мало. Это позволяет не принимать давление взорванной горной массы в ковше в расчет долговечности при рассмотрении трещин в зоне 1.

При развитии трещины в зоне 1 в форме раскрытия для определения коэффициента интенсивности напряжений к рассмотрению принимается случай полуплоскости с поперечной трещиной, нагруженной сосредоточенной силой в точке выхода на поверхность. При этом вычисление коэффициента интенсивности напряжений осуществляется по формуле [1]

$$K_I = 0,4128 \cdot P \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a}}, \quad (3)$$

где  $P$  – нагрузка, приложенная к краю трещины, равная  $qb/2$ ;  $b$  – ширина ковша;  $a$  – длина трещины.

Если трещина в зоне 1 развивается в форме продольного сдвига, коэффициент интенсивности напряжений определяется из выражения

$$K_{III} = F_{III}(\alpha) \cdot \tau \cdot \sqrt{\pi \cdot a}, \quad (4)$$

где  $\tau$  – касательные напряжения, действующие в днище ковша,  $a$  – длина трещины,

$$F_{III}(\alpha) = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot \alpha}} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi \cdot \alpha}{2}\right), \quad (4')$$

где  $\alpha = a / W$ ,  $W$  – большая сторона днища ковша.

Зависимость (4) соответствует случаю полосы с одной краевой трещиной под действием равномерно распределенных усилий продольного сдвига.

Коэффициент интенсивности напряжений для зоны 2 вычисляется по формуле, соответствующей случаю полосы с краевой поперечной трещиной при одноосном растяжении,

$$K_I = F_I(\alpha) \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a}, \quad (5)$$

где  $\sigma$  – нормальные напряжения, действующие по краям трещины,  $a$  – длина трещины,  $F_I(\alpha)$  – функция, определяемая по формуле

$$F_I(\alpha) = 1,12 - 0,231 \alpha + 10,55 \alpha^2 - 21,72 \alpha^3 + 30,39 \alpha^4, \quad (5')$$

где  $\alpha = a / W$ ,  $W$  – ширина арки ковша в месте

образования трещины.

Данные о номинальных напряжениях используемые в формулах (4) и (5) были получены с помощью метода конечных элементов.

На основе выражений (3) – (5') были вычислены размахи коэффициента интенсивности напряжений.

Полученные зависимости позволили рассчитать число циклов нагружения до разрушения ковша. При этом расчет долговечности для зоны 2 следует производить по формуле Пэриса

$$N = \frac{2}{(n-2)C\Delta\sigma^n M^{n/2}} \times \left[ \frac{1}{a_0^{(n-2)/2}} - \frac{1}{a_{pred}^{(n-2)/2}} \right], \quad (6)$$

где  $N$  – число циклов до разрушения;  $C$ ,  $n$  – параметры уравнения Пэриса;  $\Delta\sigma$  – размах напряжений в исследуемом сечении с учетом коэффициента динамичности;  $M$  – параметр, учитывающий форму и размеры трещины;  $a_0$ ,  $a_{pred}$  – начальный и конечный размеры трещины соответственно.

Расчет кинетики роста трещин и долговечности ковшей для зоны 1 проводились по формуле  $a_{pred}^{(n-2)/2} =$

$$= \frac{I}{\frac{1}{a_0^{(n-2)/2}} - \frac{N(n-2)C(\Delta\sigma_t + \Delta\sigma_b)^n M^{n/2}}{2}} \quad (7)$$

где  $\Delta\sigma_t$  – растягивающая составляющая нагрузления;  $\Delta\sigma_b$  – растягивающая составляющая нагрузжения.

Известно, что нагружение ковшей зависит от грансостава взорванных пород. В результате экспериментальных исследований были получены

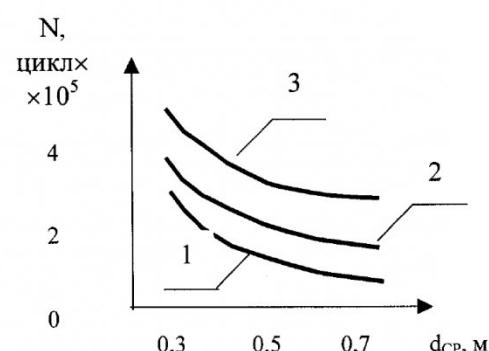


Рис. 2. Зависимость долговечности ковша экскаватора ЭШ 10/70 при наличии трещин с начальным размером  $a = 0,005$  м от грансостава пород:

- 1) в зоне 1 при развитии трещины по схеме 1;
- 2) в зоне 1 при развитии трещины по схеме 3;
- 3) в зоне 2.

зависимости долговечности ковша от грансостава пород (рис. 2).

Расчеты выполненные по приведенным формулам показали совпадение результатов теоретических исследований с экспериментальными. При этом их сравнение осуществлялось с использованием критерия Фишера.

В ходе проведенного статистического анализа было установлено, что соотношения остаточной дисперсии и дисперсии воспроизводимости не превышали критических значений. Это говорит об адекватности полученных данных.

Полученные результаты исследований являются весьма важными с точки зрения расчета ковшей шагающих экскаваторов на долговечность и позволяют с приемлемой для практических расчетов точностью рассчитывать время роста трещин в указанных зонах ковшей до критического размера, обеспечивая тем самым их надежную эксплуатацию. При этом отпадает необходимость в проведении излишне частых ремонтных работ, что в конечном счете повышает производительность экскаваторов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений. / Под ред. Ю. Мураками. -М.: Мир, 1990. Т.1,2. 1016 с.
2. Хеллан К. Введение в механику разрушения. Перевод с английского. М.: Мир. 1988. 364 с.
3. Морозов Е.М. Пестриков В.М. Механика разрушения твердых тел. М.: Профессия. 2002. 320 с.

**УДК 622.02**

**И.А. Паначев, М.Ю. Насонов, К.В.Антонов**

## О СТОПОРЕНИИ КОВШЕЙ ШАГАЮЩИХ ЭКСКАВАТОРОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СО ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ ПОРОДОЙ

Одной из основных причин внеплановых остановок шагающих экскаваторов является образование и рост трещин в их металлоконструкциях. В соответствие с существующими требованиями Госгортехнадзора трещины должны быть устранины после их обнаружения, при этом отсутствуют строго установленные сроки ликвидации. В результате этого решения о постановке экскаватора на ремонт с целью устранения трещин принимаются инженерно-техническими работниками разрезов интуитивно на основе собственного опыта. Однако при этом остановки экскаваторов производятся гораздо раньше того момента, когда трещины достигают опасных размеров. Это ведет к чрезмерным простоям экскаваторов, что отрицательно сказывается на их производительности. К тому же устранение трещин производится с использованием электродуговой сварки. В зонах сварных швов возникает дополнительная концентрация напряжений, которая возрастает после каждой последующей заварки трещины. Следствием этого является то, что процесс трещинообразования протекает более интенсивно.

В связи с этим существует необходимость создать методику расчета безопасных сроков эксплуатации металлоконструкций экскаваторов, то есть таких сроков, в течение которых разрушение металлоконструкции в результате развития в нем трещины невозможно.

К числу наиболее подверженных трещинообразованию элементов экскаватора относится ковш.

Крайне важным фактором, влияющим на процесс образования и роста трещин в ковшах экскаваторов, является взаимодействие ковша с некондиционными кусками. При столкновении ковша с такими кусками происходит его стопорение. В ходе экспериментов, проводимых на разрезах Кузбасса установлено, что стопорения ковша сопровождаются резким возрастанием напряжений, возникающих в металлоконструкциях экскаватора [1]. Это вызывает существенное увеличение размеров трещин в определенных зонах ковша. При стопорениях напряжения могут превышать предел выносливости материала ковшей, что ведет к уменьшению их остаточного ресурса.

Кусок будем считать некондиционным, если величину суммарного усилия в канатах, под действием которого происходит движение ковша во взорванной горной массе, не превышает результирующей силы отпора, действующей на кусок со стороны остальной части развода, возникающей при ударе ковша по этому куску. Максимальное значение результирующей силы отпора за время контакта куска с ковшом определяется на основе решения задачи о вдавливании жесткого штампа в крупнокусковую сыпучую среду.

$$p = 0,00175 \cdot d^3 \cdot \sin\varphi \cdot C_d , \quad (1)$$

где  $p$  – максимальное значение результирующей силы отпора со стороны сыпучего тела, действующей на поверхность штампа,  $d$  – диаметр куска,  $\varphi$  – коэффициент внутреннего трения взорван-