

УДК 621.879.0.32.004.69

М. В. Милованов, В. Г. Гореликов, М. Ю. Насонов, В. Н. Монахов

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ГОРНЫХ МАШИН ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СРЕДЫ

Работа на разрезах горных машин (буровые станки, бульдозеры, экскаваторы) связана со значительными перегрузками металлоконструкций, вызывающих инициацию трещин из трещиноподобных дефектов и приводящих к последующему разрушению объекта.

Использование ультрадефектоскопического, рентгеновского и других видов контроля при регулярном обследовании машин позволяет в большинстве случаев предотвращать негативные последствия. При их применении выявляются практически все образовавшиеся трещины и другие опасные дефекты, однако, ликвидация трещин и дефектов производится часто не сразу по обнаружению. Причинами этого является непрерывность образования трещин и длительность процесса их развития до опасного размера, а также большая стоимость остановки машины при выполнении ремонтных работ.

Решение о постановке на ремонт горной машины принимается отделом главного механика на основе обобщенных сведений об эксплуатации машин данного вида, это не позволяет в полной мере учитывать условия работы объекта и тем более конкретной конструкции и достоверно прогнозировать процесс выхода из строя.

Проводимые конструктивные расчеты на прочность металлоконструкций связаны с утвержденными методиками, которые не в достаточной мере учитывают возможность их разрушения ввиду развития трещин.

В ходе работы горного оборудования в конструкциях их трещиноподобных дефектов образуются поверхностные, подповерхностные и сквозные трещины; последние являются наиболее опасными. Причинами образования трещин является циклический характер нагружения металлоконструкций в результате взаимодействия рабочего органа машины с горными породами.

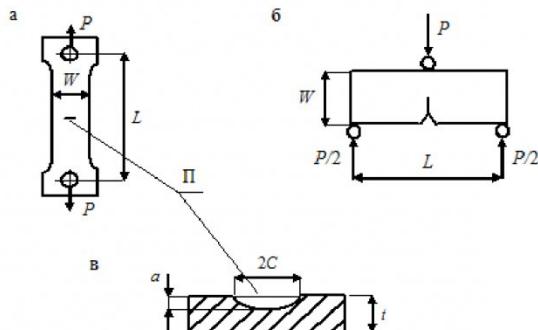
На развитие трещин влияние оказывают не только нагрузки, но и эксплуатационная среда: низкие климатические температуры, воздействие окислов азота, двуокиси серы, возникающих при разрушении горных пород в процессе их разработки. Это вызывает в вершинах трещин появление локальной коррозионной среды с pH $10^{-4} \div 10^{-6}$.

Влияние низких температур на изменение скорости роста трещин в металлоконструкциях машин достаточно хорошо изучено [1], в то время как влияние коррозионной среды изучено в меньшей степени [2]. В ходе лабораторных испытаний исследовалось воздействие коррозионной среды

на трещиностойкость сталей, применяемых в горном машиностроении. Для испытаний использовались стали, применяемые в горном машиностроении. Испытания выполнялись на образцах со сквозной и поверхностной трещиной, работающих на центральное растяжение и трехточечный изгиб (рис. 1).

Циклические испытания проводились с частотой от 3 до 0,01 Гц, что соответствует режимам работы металлоконструкций большинства горных машин.

Испытания при частоте 3 Гц выполнялись с применением универсальной машин с коррозионной оснасткой. Испытания при частоте 0,01 Гц – на специальной установке. В результате были получены параметры циклической трещиностойкости сталей ВСТ3сп5, 09Г2С и 10ХСНД в воздушной и коррозионной среде.



*Рис.1. Образцы для циклических испытаний:
а – на центральное растяжение; б – на трехточечный изгиб; в – общий вид поверхностного надреза; П – поверхностный надрез; а – глубина надреза, С – полудлина надреза*

Установлено, что воздействие коррозионной среды однозначно увеличивает скорость роста трещин в сталях (у стали ВСТ3сп5 максимально в 1,5 раза) по сравнению с воздушной. Наибольшее влияние среда оказывает воздействие на околосшовную зону сварного соединения, наименьшая – на основной металл (рис. 2).

В результате сравнения теоретических и экспериментальных данных о развитии поверхностной трещины было обнаружено расхождение – трещина в глубину развивалась несколько медленнее, чем по расчету, в то время как по поверхности экспериментальное развитие трещины совпадало расчетным. С целью исключения в расчетах этого расхождения был введен в формулу по определению размаха коэффициента интенсивности напряжений для полуэллиптической трещины

коэффициент ξ , учитывающий изменение влияния коррозионной среды в устье поверхностной трещины в зависимости от ее глубины и температуры испытания:

$$\Delta K_{(\varphi=90^\circ)} = F_{(\varphi=90^\circ)} \xi \Delta \sigma \sqrt{\frac{\pi a}{Q}}, \quad (1)$$

где $F_{(\varphi = 90^\circ)}$ – коэффициент влияния на КИН формы и относительной глубины поверхностной трещины в ее вершине; $\Delta \sigma$ – размах номинальных напряжений в зоне развития трещины; a – глубина трещины; Q – параметр формы трещины.

С увеличением глубины поверхностной трещины коэффициент влияния среды ξ уменьшается с 1 при относительной глубине $a/t = 0$ до 0,8 при $a/t = 0,7$ и температуре испытания $T = 273$ К и до 0,75 при $T = 293$ К.

dl/dN ,

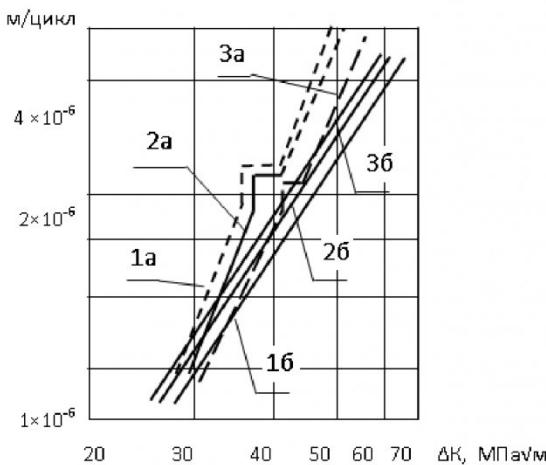


Рис.2. Зависимость скорости роста трещины в стали ВСтЗсп5 от размаха КИН:

а - при частоте нагружения 0,01 Гц в коррозионной среде; б - при частоте нагружения 3 Гц в воздушной среде; 1 – основной металл; 2 – металл шва; 3 – металл около шовной зоны

Для оценки статической трещиностойкости исследуемых сталей и их сварных соединений определялся критический коэффициент интенсивности напряжений в среде K_{ISCC} с использованием испытательной установки на статическое растяжение. С этой целью применялись цилиндрические образцы с кольцевым надрезом и наведенной трещиной.

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что при испытаниях в коррозионной среде для всех зон сварного шва наблюдается стабильное уменьшение критического коэффициента интенсивности напряжений в 1,3÷1,7 раза по сравнению с испытаниями на воздухе.

В результате проверки полученных экспериментальных данных на работающих машинах установлено, что при циклическом нагружении воздействие коррозионной среды на их металлокон-

струкции увеличивает скорость роста трещины в 1,5 раза и снижает статическую трещиностойкость в 1,7 раза.

Полученные результаты позволили производить расчет циклической прочности и долговечности металлоконструкций горных машин. Расчет на прочность конструкций со сквозной трещиной производился при помощи стандартного выражения.

Расчет на прочность конструкции с поверхностной трещиной выполнялся по критическому коэффициенту интенсивности напряжений, соответствующему критической глубине и длине трещины с учетом выражений, в одно из которых входил коэффициент ξ :

$$K_I = K_{ISCC} = \sqrt{\frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{\max}^2 \cdot F_{\varphi=90} \cdot \alpha_{kp}}} \quad (2)$$

$$K_I = K_{ISCC} = \sqrt{\frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{\max}^2 \cdot F_{\varphi=0} \cdot C_{kp}}}$$

где α_{kp} – критическая глубина поверхностной трещины; $2C_{kp}$ – критическая длина Q – параметр формы поверхностной полуэллиптической трещины; $F_{\varphi=90}$ – коэффициент влияния на значение коэффициента интенсивности напряжений относительной глубины и формы поверхностной трещины в наиболее глубокой точке; $F_{\varphi=0}$ – коэффициент влияния на значение коэффициента интенсивности напряжений относительной глубины и формы поверхностной трещины в устье трещины на поверхности металлоконструкции; ξ – коэффициент, учитывающий изменение влияния коррозионной среды в устье поверхностной трещины в зависимости от ее глубины.

Долговечность конструкции в циклах нагружения при наличии трещины в плоских элементах металлоконструкций горных машин определялся при помощи стандартного выражения при наличии сквозной трещины:

$$N = \frac{2}{(n-2) \cdot C \cdot M^{(n/2)} \cdot \Delta \sigma^n} \cdot \left[\frac{1}{l_o^{(n-2)/2}} - \frac{1}{l_k^{(n-2)/2}} \right], \quad (3)$$

где C и n – параметры циклической трещиностойкости, определяемые экспериментально; $\Delta \sigma$ – размах номинальных напряжений; l_o – начальная длина трещины; l_k – критическая длина трещины.

При наличии поверхностной трещины формула имела вид :

$$N = \frac{2}{(n-2) C \Delta \sigma^n (\xi^2 F^2 \pi / Q)^{n/2}} \cdot \left[\frac{1}{a_o^{(n-2)/2}} - \frac{1}{a_k^{(n-2)/2}} \right], \quad (4)$$

где a_o – начальная глубина поверхностной трещины; a_k – глубина поверхностной трещины, равная толщине элемента конструкции; Q – параметр формы поверхностной полуэллиптической трещины; F – коэффициент влияния на значение коэффициента интенсивности напряжений относительной глубины и формы поверхностной трещины при растяжении; ξ – коэффициент, учитывающий изменение влияния коррозионной среды в устье поверхностной трещины в зависимости от ее глубины и температуры испытания.

Одним из важных факторов, влияющих на рост трещин, является форма элементов металлоконструкций. Использование расчетных формул коэффициентов интенсивности напряжений, применявшихся ранее, соответствующих незамкнутой бесконечной пластине показало значительное расхождение с практическими наблюдениями. Для учета формы элементов отличных от плоской использовались справочные коэффициенты интенсивности напряжений [3].

Для элементов горных машин одной из важных форм является цилиндрическая оболочка, работающая на растяжение и изгиб. При симметричной нагрузке, т. е., когда на берегах трещины действуют постоянные изгибающие и растягивающие усилия коэффициент интенсивности напряжений в соответствии выглядит :

$$K = p \cdot (\sqrt{l}) \cdot \left\{ 1 + \frac{\pi}{64} \cdot \lambda^2 + \right. \\ \left. + \frac{\lambda^4}{8192 \cdot (1-\nu) \cdot (3+\nu)} \cdot [(2 \cdot \pi^3 - 3) \cdot \right. \\ \left. (1-\nu) \times (3+\nu) + 4 \cdot (1+\nu)^2 + \right. \\ \left. + 4 \cdot (17 - 22 \cdot \nu + 3 \cdot \nu^2) \cdot \ln^2 \left(\frac{\lambda \cdot \gamma}{8} \right)] \right\} \dots \quad (5)$$

где p – усилие на берегах трещины; λ и ν – относительные размеры трещины; γ – угол, ориенти-

рующий трещину относительно осевой линии.

Для случая, когда трещина в цилиндрической оболочке развивается под некоторым углом к осевой линии, коэффициент интенсивности напряжений имеет вид :

$$K = p \cdot (\sqrt{l}) \cdot \left[1 + \frac{\pi}{64} \cdot \lambda^2 (3 + 2 \cdot \cos 2 \cdot \gamma) \right] + \\ + p^* \cdot (\sqrt{l}) \cdot \pi^2 \cdot \frac{\lambda^2}{64} \cdot \sin 2\gamma + (\lambda^4 \cdot \ln \lambda). \quad (6)$$

где p^* – касательные усилия на берегах трещины.

При действии на берега трещины постоянной изгибающей нагрузки коэффициент интенсивности напряжений будет выглядеть :

$$K = \frac{\lambda^2}{192 \cdot h} \cdot \frac{(\sqrt{3 \cdot (1-\nu)})}{(1-\nu) \cdot (3-\nu)} \cdot \{ 4 \cdot p^{**} \cdot [3 \cdot (15-\nu) \cdot \sin^4 \gamma - (1-7\nu) \cdot \cos^4 \gamma - \\ - 6 \cdot (8 \cdot \sin^2 \gamma - 1 - \nu - 4 \cdot \nu \cdot \cos^2 \gamma) \cdot (1 + \ln \lambda \cdot \gamma)] - 3 \cdot p^{***} \cdot (v+5) \cdot \sin 2\gamma \}, \quad (7)$$

где p^{**} – изгибная составляющая нагрузки; p^{***} – перерезывающая составляющая нагрузки.

В результате установлено, что воздействие коррозионной среды на металлоконструкции экскаваторов при разработке взорванных скальных пород приводит при циклическом нагружении к увеличению скорости поверхностных и сквозных роста трещин в 1,5 раза, а параметры статической трещиностойкости максимально уменьшаются в 1,7 раза.

Полученные данные циклической и статической трещиностойкости сталей позволили оценивать циклическую долговечность металлоконструкций горных машин, их техническое состояние, устанавливать межремонтные сроки и прогнозировать их безопасную работу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паначев И. А. Исследование характеристики трещиностойкости сталей, применяемых при производстве шагающих экскаваторов / И. А. Паначев, М. Ю. Насонов // Вестник КузГТУ. 1999. № 4. С. 27-30.
2. Паначев И. А. Влияние агрессивных сред на хрупкую прочность и циклическую долговечность металлических конструкций. / И. А. Паначев, М. Ю. Насонов // Сборн. научн. трудов. Кузбасский государственный технический университет. Актуальные вопросы подземного и наземного строительства. Кемерово КузГТУ. 1996. с. 157-164.
3. Панасюк В. В. Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках. / В. В. Панасюк, М. П. Саврук, А. П. Дацишин. – Киев: Наукова думка, 1976. – 444 с.

□ Авторы статьи:

Милованов

Максим Вячеславович,
ассистент каф. сопротив-
ления материалов
КузГТУ. Email:
86_milovanov@mail.ru

Гореликов

Владимир Георгиевич,
д. т. н., с.н.с., проф. каф.
механики (Санкт-Петер-
бургский государственный
горный ун-т),
т. (812) 3288282

Насонов

Михаил Юрьевич
д. т. н., доцент, каф. меха-
ники (Санкт-Петер-
бургский государственный
горный ун-т),
т. (812) 3288282

Монахов

Вячеслав Николаевич
к. т. н., доцент, каф. механики
(Санкт-Петербургский
государственный горный
ун-т), т. (812) 3288282