



ВЛИЯНИЕ ПИТТИНГОПОДОБНЫХ ДЕФЕКТОВ НА РАЗВИТИЕ УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ КРАНОВЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Григорий Вячеславович СЕЛИВЕРСТОВ, канд. техн. наук, доцент

Павел Алексеевич СОРОКИН, докт. техн. наук, профессор

Валентина Сергеевна БАРНИКОВА, аспирант

Тулский государственный университет

Рассмотрено влияние питтинговой коррозии и питтингоподобных дефектов на напряженно-деформированное состояние металлоконструкций. Проведены испытания в условиях циклического растяжения модельных образцов с питтингоподобными дефектами из материалов, характерных для крановых металлоконструкций.

Ключевые слова: грузоподъемный кран, питтинг, дефект, металлоконструкция, усталостное повреждение, коррозия, трещина.

Дефекты и повреждения металлических конструкций кранов являются следствием низкого качества металла (малоуглеродистая сталь); неудовлетворительного конструктивного решения, качества изготовления и монтажа отдельных элементов; воздействия окружающей среды; эксплуатации кранов в непредусмотренном режиме, плохом уходе и ремонте. Особо стоит выделить коррозионное повреждение, которое приводит к снижению несущей способности конструкции за счет уменьшения сечений ее элементов и развитию под воздействием напряжений от силовых нагрузок многочисленных усталостных трещин.

При этом современные модели определения усталостной поврежденности как правило учитывают влияние коррозии лишь с точки зрения уменьшения несущего сечения элемента. Однако коррозионному повреждению могут подвергаться только отдельные участки поверхности, на которых образуются глубокие поражения – питтинги (точечные язвы). Наблюдается питтинговая коррозия при воздействии на металл или сплав не только пассиваторов, приводящих поверхность в пассивное состояние (например, окислитель), но и ионов-активаторов (Cl⁻, Br⁻, J⁻) [1]. Активно питтин-

говая (точечная) коррозия протекает в морской воде, смеси азотной и соляной кислот, растворах хлорного железа, других агрессивных средах.

В зависимости от продолжительности коррозии и других факторов глубина и поперечник питтинга могут изменяться от мкм до см. Микропиттинги имеют размер до 0,1 мм, питтинги от 0,1 до 1 мм, пятно, язва - более 1 мм. Линейная скорость углубления питтинга при стабилизировавшейся коррозии металла может достигать 0,1 – 1 мм/год. Питтинги могут нарушать функционирование самых различных изделий: от тонких мембран и проводников микросхем до толстостенных аппаратов, емкостей и

труб. От них часто развиваются коррозионные трещины, что значительно повышает опасность такой коррозии.

Питтинг может быть закрытым, открытым и поверхностным [2]. Открытые питтинги хорошо видны на поверхности невооруженным глазом или под небольшим увеличением. Если их очень много, коррозия приобретает сплошной характер. В открытом питтинге дно поры выступает в качестве анода, а пассивная пленка – катода. Закрытые питтинги являются очень опасным видом коррозионного разрушения, поскольку установить их наличие можно лишь специальными приборами. Они развиваются вглубь металла или сплава. Закрытый питтинг может послужить причиной пробоа даже в нержавеющей сталях. Поверхностный питтинг развивается больше вширь, чем вглубь, образуя на поверхности металла или сплава выбоины.

В зависимости от условий формирования и развития (температура, кислотность, химический состав раствора) форма питтингов может быть различной [1]: полусферической, цилиндрической, полиэдрической и др. (рис. 1). На внутренней поверхности

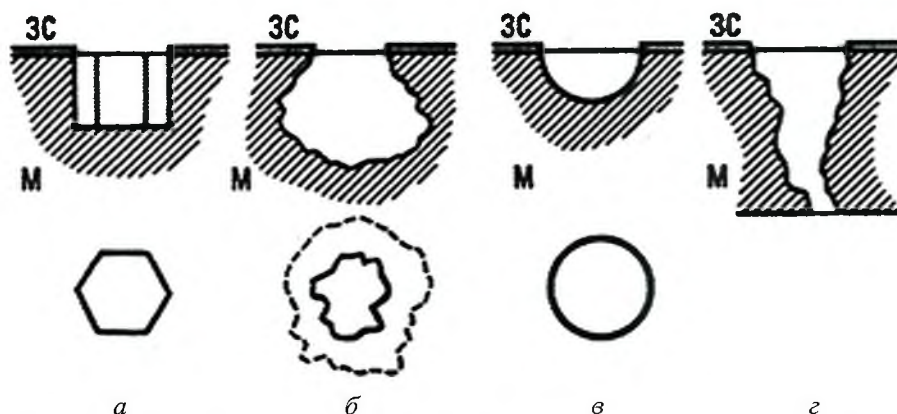


Рис. 1. Питтинги различной формы в поперечном (сверху) разрезе и в плане (снизу): а – кристаллографически ограниченный; б – обычного типа язвы; в – полусферический с блестящей внутренней поверхностью; г – сквозной свищ в металлической стенке. М – металл, ЗС – защитный слой



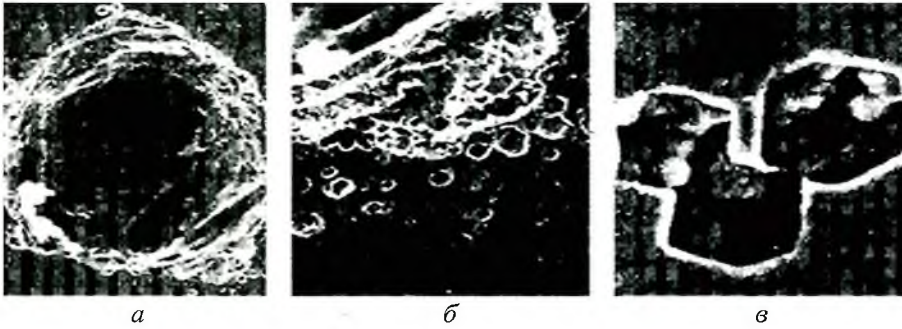


Рис. 2. Крупный питтинг на поверхности нержавеющей стали 03X18H11 при 300-кратном (а), 1000-кратном (б) и 8000-кратном (в) увеличении

питтингов сосуществуют области пассивного состояния и активного растворения. Для железа и никеля, например, в кислых растворах разность между потенциалами дна питтинга и пассивной поверхности образца может достигать 1 В.

Полусферическую форму имеют так называемые полированные питтинги. Их внутренняя поверхность блестяща, что свидетельствует об изотропном, не зависящем от структуры, растворении, близком по механизму к электрополировке. Такие питтинги наблюдались на железе, нержавеющей стали, алюминии, тантале, сплавах на основе никеля, титана, кобальта.

Ограниченные (кристаллографические) и неправильной формы (анизотропно растущие в различно ориентированных зернах металла) питтинги, как правило, являются травлеными. Они обнаружены на железе, углеродистых, низколегированных и нержавеющей стали, никеле, алюминии, цинке, хrome.

Форма кристаллографических питтингов соответствует правильным пирамидам, призмам, и сложным многогранникам, как правило, ограниченными низкоиндексными плоскостями кристаллической решетки, а тип огранки определяется пустотами кристаллической решетки, образовавшимися на начальных стадиях зарождения питтингов. Часто крупные (полусферические) питтинги возникают в результате слияния множества более мелких кристаллографических (рис. 2).

Зарождение питтинга происходит в местах дефектов пассивной пленки (царапины, разрывы) или ее слабых местах (если имеет место неоднородность сплава) при достижении определенного потенциала питтингообразования. Ионы-активаторы вытесняют адсорбированный на поверхности кислород или при взаимодействии разрушают оксидную защитную пленку.

В пакете APM WinMachine в приложении Structure 3D была построена конечно-элементная модель с локальными отверстиями, моделирующими питтингоподобные дефекты (рис. 3). Ее анализ позволил определить изменение НДС вблизи дефектов. Расчет показал, что максимальные значения напряжений составляют 206 МПа при номинальных значениях 100 МПа. На основе анализа модели было выявлено изменение напряжений в 2,1 раза.

Анализ линейной модели накопления поврежденности показал, что при таком значении концентрации напряжений элемент металлоконструкции при воздействии номинальных нагрузок переходит в область ограниченной долговечности. Для проверки модели были проведены экспериментальные исследования с моделированием на образцах питтин-

гоподобных дефектов с целью выявления степени их влияния на накопление и развитие усталостной повреждаемости.

Металлоконструкции грузоподъемных кранов изготавливают из стальных листов, фасонного проката, труб, гнутых и штампованных профилей, при этом используют профили как универсального назначения, так и специально выпускаемые для отрасли подъемно-транспортного машиностроения [3]. Для современных сварных конструкций обычно применяют низколегированную сталь 09Г2С [4]. Поэтому для испытаний на усталость по ГОСТ 25.502-79 были изготовлены образцы типа III [5], в качестве материала которых был выбран, как наиболее часто применяемый, прокат листовой стальной марки 09Г2С ГОСТ 19281-89.

Испытания проводили в условиях циклического растяжения с асимметрией цикла $R = 0,3$, что соответствует работе нижнего пояса мостового крана с учётом динамики его нагружения при выполнении рабочего цикла. Поверхность испытываемых образцов, в районе концентратора напряжений, полировалась до шероховатости $R_a = 0,04$ мкм. Испытания проводили на

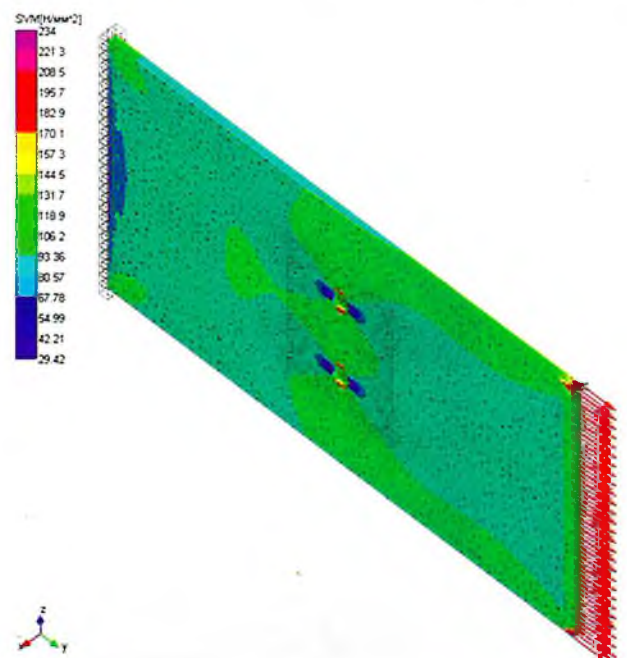


Рис. 3. Конечно-элементная модель исследуемого образца

N_i	$H_c, A/cm$	$H_{c_{ср}}, A/cm$	$H_{c_{отн}}$	$N_{отн}$
0	4,6; 4,6; 4,6	4,6	0,715	0
150000	4,5; 4,6; 5,0	4,7	0,758	0,075
300000	4,7; 4,8; 4,9	4,8	0,774	0,15
500000	4,8; 4,9; 5,0	4,9	0,79	0,25
600000	4,9; 4,9; 5,0	4,93	0,795	0,3
800000	4,9; 4,9; 5,1	4,97	0,802	0,4
1000000	4,9; 5,0; 5,1	5	0,806	0,5
1300000	5,3; 6,0; 5,0	5,43	0,876	0,65
1500000	6,1; 6,2; 6,3	6,2	1,0	0,75
1800000	6,2; 6,2; 6,2	6,2	1,0	0,9
2000000	6,1; 6,3; 6,2	6,2	1,0	1,0
2078600	-	-	-	-

разрывной машине Р-20 при частоте работы пульсатора 750 мин⁻¹. Для оценки накопленной поврежденности использовали коэрцетиметр-структроскоп КРМ-Ц-К2М. В таблице приведены значения коэрцетивной силы H_c в абсолютных и относительных величинах в зависимости от числа циклов нагружения N (выработанного ресурса).

На рис. 4, а показана поверхность образца до нагружения. Форма питтингоподобных дефектов имеет правильную круглую форму. После циклирования, хорошо заметно пластическое деформирование в зоне обеих

питтингов (рис. 4, б) и появление полос Чернова-Людерса по поверхности образца, при сохранении его геометрических размеров. Это говорит о протекании упругопластического деформирования. В дальнейшем наблюдалось интенсивное пластическое течение материала. Возникновение трещины произошло при выработке 0,75 полного ресурса (рис. 4, в). На рис. 4, е виден разрушенный образец. Поверхность излома лабораторного образца показана на рис. 4, д.

Развитие трещины происходило от питтингоподобного дефекта в сторону края образца. Сравнивая процесс на-

копления поврежденности с полученными данными по изменению коэрцетивной силы можно отметить, что момент зарождения трещины также хорошо отслеживается выходом её значения на максимальный уровень. Следовательно при возникновении питтингоподобных дефектов необходимо учитывать изменение НДС элемента металлоконструкции, и рассматривать эти дефекты как концентраторы напряжений, имеющие характеристики случайной величины.

Литература

1. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. – М.: Металлургия, 1986. – 358 с.
2. Колотыркин Я.М., Попов Ю. А., Алексеев Ю. В., в сб.: Итоги науки и техники. Коррозия и защита от коррозии, т. 9, М., 1982;
3. Гохберг М. М. Справочник по кранам. – Л.: Машиностроение, Т. 1, 1988. – 531 с.
4. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие.- СПб.: Политехника, 2005.- 423 с.: ил.
5. ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний на усталость. М.: ИС, 1986. – 32 с. ▲

Г.В. Селеверстов, П.А. Сорокин, В.С. Барникова, тел. (phone): (4872) 33-22-88; e-mail: s456789@mail.ru

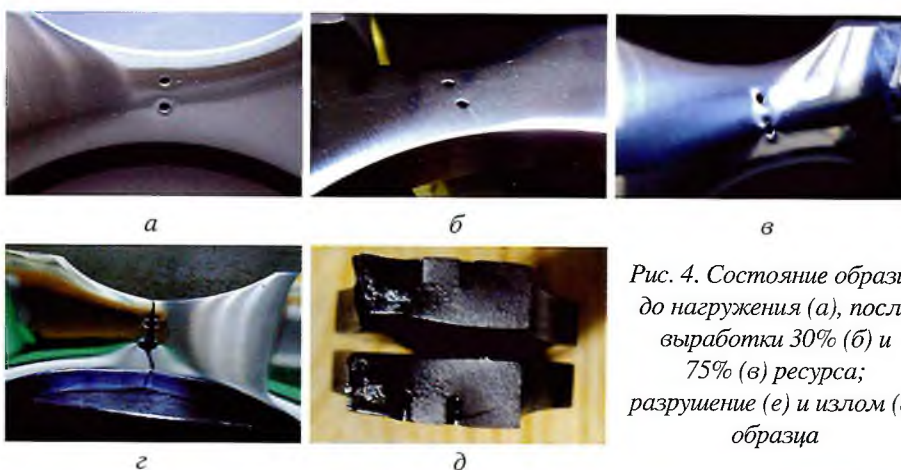


Рис. 4. Состояние образца до нагружения (а), после выработки 30% (б) и 75% (в) ресурса; разрушение (е) и излом (д) образца

www.npp-pts.ru

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ
ТОРМОЗА ПРОИЗВОДСТВО
ТОЛКАТЕЛИ
МАГНИТЫ

НПП "ПОДЪЕМТРАНССЕРВИС" (495) 993-06-13
967-10-25

www.npp-pts.ru

ВСЕ ЦЕПИ ПЛАСТИНЧАТЫЕ
КРУГЛОЗВЕННЫЕ

НПП "ПОДЪЕМТРАНССЕРВИС" (495) 993-06-14
967-10-26

