



ВТОРИЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СВАРНЫХ МОСТОВЫХ КРАНАХ

О. А. ЕМЕЛЬЯНОВ, канд. техн. наук (Донбасская гос. машиностроит. акад., г. Краматорск),
Р. Л. СЛАВИНСКИЙ, инж. (ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод»),
Д. В. ЯРЕМЕНКО, асп. (Харьковский политехн. ун-т)

Рассмотрено образование вторичных напряжений и их влияние на усталость сварных крановых мостов.

Ключевые слова: сварные мостовые краны, вторичные напряжения, места генерации, усталостная прочность, циклическая долговечность

Основной причиной непригодности кранов для дальнейшей эксплуатации являются усталостные повреждения металлоконструкции моста, происходящие только при действии переменных нагрузок. Крановая нагрузка — это все внешние силы, действующие на кран, главные из которых собственный вес и опорные реакции. Изменение нагрузки происходит в случае изменения весовых нагрузок или места их приложения, а также некоторых силовых и деформационных факторов.

Лаборатория технической диагностики Донбасской государственной машиностроительной академии с 1978 г. проводит исследования по совершенствованию сварных конструкций грузоподъемных машин. За это время проведена диагностика 1800 мостовых кранов. Установлено, что до 60 % обследованных машин имеют усталостные повреждения.

Целью настоящей работы является выяснение причин массовых усталостных повреждений «слабонагруженных» мест конструкций сварных крановых мостов.

Работу, которую выполняет кран, можно разделить на три периода: подъем-опускание груза, перемещение его тележкой и перемещение груза мостом крана вдоль пролета.

В первом периоде груз висит на крюке. При работе механизма подъема вес груза последовательно по цепочке барабан — опоры барабана — опоры редуктора и двигателя механизма подъема — рама грузовой тележки — колеса тележки — главные балки моста — концевые балки — колеса моста передается на подкрановые балки. Каждый из перечисленных выше узлов передает почти равную нагрузку от крюка на подкрановые балки, значение которой равно массе поднимаемого груза с учетом потерь на трение и т. п. Место передачи нагрузки на каждый узел и ее значение могут быть определены достаточно точно.

Во втором периоде груз, висящий на крюке, перемещается на тележке по главным балкам моста. Места передачи нагрузки на главные и концевые балки и усилия в каждом сечении могут быть точно определены по линиям влияния. Следовательно, в первом периоде переменность нагрузки получаем вследствие изменения силы натяжения в канатах подвески, во втором — при изменении положения тележки на главных балках.

Сопротивление усталости (циклическая долговечность) для сварных узлов кранового моста и его элементов в случае их работы в первом и втором периодах с достаточной для практики точностью может быть определено по методике (третий период), изложенной в СНиП 11-23-81 [1].

Далее (третий период) груз, висящий на крюке, перемещается при движении крана вдоль пролета, значение нагрузки и место ее приложения на конструкции не изменяется. Формально усталостные повреждения не должны происходить, однако в действительности они наблюдаются.

Обнаруженные особенности можно объяснить следующим образом. В третьем периоде электродвигатель привода механизма передвижения крана (или грузовой тележки) совершает работу, затрачиваемую на передвижение крана вдоль пролета и различные непроизводительные потери — деформацию и износ деталей, составляющих конструкции крана, образование вторичных напряжений и усталостных трещин и т. д. В этой ситуации переменность усилий в элементах моста может появиться, если работа непроизводительных потерь будет влиять на значение его опорных реакций, т. е. вертикальные и горизонтальные силы в контакте ходовое колесо — рельс. Эти силы, непрерывно изменяясь при качении колес, вызовут изменение усилий в деталях металлоконструкции моста и привода передвижения крана [2, 3], способствуя протеканию в них усталостных повреждений.

Следовательно, сопротивление усталости металлоконструкции кранов в третьем периоде зависит от непроизводительных потерь мощности

привода передвижения крана в процессе его движения вдоль пролета.

Потери определяются рациональностью схемно-конструктивного решения моста и конструктивного оформления его сварных узлов; точностью изготовления деталей, качеством сборки узлов; состоянием элементов подкранового пути и привода передвижения крана, а также нарушением правил безопасной эксплуатации.

На мостовом кране обычно устанавливаются механизмы приводов подъема, передвижения тележки и передвижения моста. КПД каждого привода зависит от условий выполняемой работы и особенностей оформления конструкции. Чем меньше деталей, элементов и кинематических пар механизма, крана и эстакады включается в ее выполнение, тем меньше непроизводительные потери энергии, вырабатываемой двигателем привода, и выше его КПД. Наиболее высокий КПД у механизма подъема, наиболее низкий — у привода передвижения крана.

В зависимости от КПД приводов при работе крана как в первом, так и втором периоде в результате потерь энергии, вырабатываемой двигателем, могут образоваться и поддерживаться колебательные процессы вторичных напряжений, способствуя протеканию усталостных повреждений в конструкции моста.

Практика эксплуатации сварных крановых мостов показывает, что усталостные повреждения в них образуются после 1...3 лет работы, т. е. значительно раньше, чем это регламентируется различными нормативами. Преждевременные трещины появляются в тех элементах, в которых они не ожидалась, и поэтому расчету на усталость не подвергались.

Усталостные трещины наблюдаются во всех типах сварных стальных пролетных строений, особенно в тех, где имеются приваренные к балкам ребра жесткости, фасонки и поперечные балки, а также различные вырезы для пропуска сварных швов.

Большинство крановых мостов, в которых наблюдаются трещины, подвержены циклическим нагрузкам, однако количество нагружений до момента образования трещин было небольшим. Дж. Фишер и Д. Мертц [4] считают, что образование таких трещин вызывается вторичными напряжениями, обусловленными деформацией пролетного строения моста и его отдельных элементов.

Практика эксплуатации подъемно-транспортных механизмов показывает, что проблема образования и влияния вторичных напряжений на циклическую долговечность крановых мостов является актуальной и требует своего решения.

Переменные нагрузки, действующие на кран и вызываемые ими усилия и напряжения в кон-

струкции моста, в зависимости от причин их образования целесообразно классифицировать на две группы: основные и вторичные.

Основными называются напряжения, которые вызываются увеличением или уменьшением усилий в элементах конструкции моста крана при изменении места установки тележки на главных балках моста, или усилия натяжки в подвеске от груза $G_{гр}$, поднимаемого или опускаемого краном.

Значение основных усилий в элементах моста и опорных реакций, уравнивающих весовые нагрузки, может изменяться при изменении усилия в подвеске механизма подъема в процессе его натяжения до отрыва груза от основания (или ослабления при укладке его на основание) или места установки тележки на главных балках моста.

Балки нагружаются поперечным изгибом, кручением и местным давлением, в них образуются основные усилия M , Q , M_p , F и основные напряжения σ_x , τ_{xy} , σ_{fy} , $\sigma_{loc, y}$ [1, п. 13, 14]. В некоторых случаях, кроме основных, могут образоваться и переменные вторичные напряжения, которые вызываются перемещениями вспомогательных элементов и конструкций моста (перильные фермы, тормозные площадки, площадки для обслуживания, лестницы, кабины и т. п.) при их вынужденных деформациях совместно с основными, несущими конструкциями, к которым они прикреплены электросваркой.

Под влиянием вторичных напряжений усталостные трещины появляются в основной несущей конструкции, уже нагруженной основными напряжениями, в местах крепления к ней различных вспомогательных конструктивных элементов.

Прикрепляемая сваркой вспомогательная деталь является дополнительным концентратором напряжений, в зоне которого добавляются остаточные напряжения от сварки и вторичные напряжения от нагрузки, действующей на вспомогательную деталь. Следовательно, появляется дополнительный очаг возможного образования усталостной трещины, но уже с учетом побочного влияния вторичных напряжений. Чем больше подобных участков, тем больше повреждений, которые в зависимости от обстоятельств могут появиться уже на ранней стадии эксплуатации моста, в слабонагруженных местах.

На рисунке показан пример образования усталостной трещины в основной несущей конструкции — нижнем поясе главной балки 1 моста крана, соединенного электросваркой с верхним поясом вспомогательной фермы 2 диагональным раскосом 3. Прогиб главной балки при наезде тележки с грузом вызывает растяжение раскоса 3 и совместный прогиб вспомогательной фермы 2. Растягивающее усилие раскоса 3 изгибает фасонку 4 и вызывает образование усталостных трещин

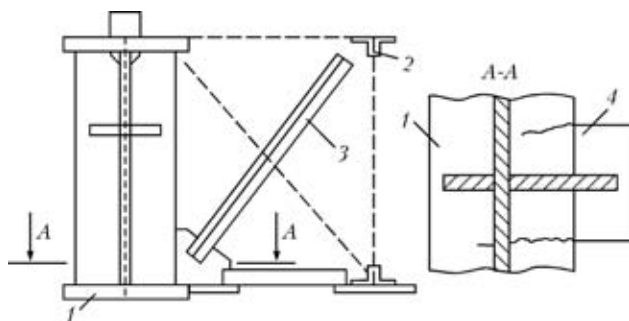


Схема образования трещины в нижнем поясе главной балки по краям горизонтальной фасонки, приваренной встык (обозначения см. в тексте)

в месте прикрепления фасонки к поясу главной балки.

Возможны и другие места образования вторичных напряжений на главных и концевых балках кранового моста. Это объясняется тем, что в зависимости от совершенства конструкции механизма привода передвижения крана и его фактического состояния часть энергии, вырабатываемой двигателем, расходуется на различные непроизводительные потери (деформацию и износ деталей, составляющих конструкцию, образование вторичных напряжений и усталостных трещин и т. п.).

Значение опорных реакций при движении мостового крана в основном зависит от обеспечения прямолинейности и равномерности движения крана (грузовой тележки) вдоль рельсового пути, а также от:

значения и направления угла монтажного перекоса колеса относительно направления скорости движения крана;

отклонения уровня головки рельса от его номинального значения по высоте, вблизи стыков и между колоннами в ряду;

значения коэффициента трения в контакте колесо – рельс;

пластического наволакивания металла на контактирующую поверхность колеса и рельса.

Из приведенного выше видно, что непосредственно для оценки сопротивления усталости эта информация непригодна, требуется создание методики, позволяющей определять место генерации, причину образования и влияние на долговечность работы крана вторичных напряжений в третьем периоде.

В инженерной практике справедливы два принципа: местная прочность (накладки, усиливающие ребра, бонки, местные утолщения или уширения элементов конструкции и т. п.) и местная непрочность (отверстия, люки, вырезы, входящие углы, местные утонения и сужения и т. п.), которые приводят к общей непрочности, так как местные изменения жесткости конструкции вызывают концентрацию напряжений (КН) и опасны. Как правило, КН способствует протеканию усталостных

повреждений при переменных нагрузках. В этих случаях у кранов необходимо устранить КН в элементах его моста или снизить размах опорных реакций в процессе его движения по пролету.

Вторичные напряжения образуются в основных несущих элементах моста, в местах расположения различных конструктивных концентраторов напряжений, которые могут образовываться в местах приварки вспомогательных элементов к основной детали.

Высокие напряжения в местах прикрепления вспомогательных элементов к основным получают в результате суммирования передаваемого ими силового потока с остаточными напряжениями от сварки, а также с концентрацией основных напряжений, образующихся в местах пристыковки вспомогательных элементов к основным. Этим объясняется образование усталостных трещин в местах конструкции, «слабонагруженных» основными напряжениями.

Методы повышения сопротивления усталости сварных соединений и конструкций кранов можно разделить на три принципиально отличные группы: повышение сопротивления усталости местной обработкой сварных швов, рациональное конструктивное оформление сварных узлов и рациональное схемно-конструктивное решение крановых мостов в целом.

Первая группа методов подробно рассмотрена в работе [2] и широко применяется в настоящее время для повышения сопротивления усталости сварных соединений.

Вопросы рационального конструктивного оформления сварных узлов, входящих в мост крана, описаны в работе [3]. Этот метод позволяет обеспечить равномерную передачу силового потока в элементах конструкции моста, входящих в узел, т. е. устранить КН конструктивным путем в пределах сварного узла и примыкающих к нему элементах, уменьшить влияние остаточных напряжений на сопротивление усталости сварных швов и узла в целом, устранить деформационное старение стали в сварных соединениях.

Третья группа разработана в Донбасской государственной машиностроительной академии. Она включает методы устранения факторов [3], вызывающих усталостные повреждения сварного моста при его движении вдоль пролета. Эти методы основаны на совершенствовании схемно-компоновочного решения моста и крана в целом с целью устранить или существенно уменьшить размах сил реакций в контактах колесо – рельс, т. е. устранить изменение усилий и напряжений в конструкции моста при движении крана по путям, имеющим отклонения от проектных размеров, а также устранить возможность появления вибрации.

Следовательно, нагруженность моста можно снизить выравниванием вертикальных и умень-



шением горизонтальных опорных реакций. Все методы, позволяющие решить эту проблему, целесообразно назвать «повышением ходовых качеств кранов».

Первые два метода — пассивные, так как не влияют на общую нагруженность крана и подкрановой эстакады, а также непроизводительные потери энергии, потребляемой на передвижение крана. Третий — конструктивный, снижает нагруженность моста и подкрановой эстакады при движении крана, а также непроизводительные потери энергии, снижает или устраняет размах амплитуд усилий и напряжений в конструкции. Метод основан на улучшении ходовых качеств крана.

В течение 20 лет эксплуатации мостовых кранов усталостные трещины могут образовываться в основном под действием вторичных напряжений, выраженных в продавливании листа верхнего пояса рельсом, отрыве «петушков», прикрепляющих рельс к балке, отрыве тупиковых упоров тележки, образованием трещин в местах приварки к стенкам балок кронштейнов рам для установки приводов и шкафов с электрооборудованием, в местах крепления главных балок к концевым и т. п.

Очевидно, что в этих случаях предупредить усталостные повреждения главных балок нагрузками при перемещении грузов лебедкой, подъема

и тележкой можно путем устранения факторов, вызывающих появление вторичных напряжений.

Выводы

1. Достижимая в условиях производства циклическая долговечность сварных крановых мостов, изготавливаемых по нормативам для режимов Т и ВТ, в большинстве случаев значительно ниже расчетной, так как не учитывается влияние вторичных напряжений.

2. С целью дальнейшего увеличения усталостной прочности сварных конструкций мостов требуется исследование причин образования и мест генерации переменных вторичных напряжений.

3. Необходимо продолжить работы по совершенствованию уже имеющихся и созданию новых модификаций статически определимых кранов, которые позволяют существенно снизить вторичные напряжения при их движении.

1. СНиП 11-23-81.
2. Груфяков В. И. Повышение сопротивления усталости сварных соединений и конструкций // Автомат. сварка. — 1998. — № 11. — С. 11–19.
3. Усталостные повреждения сварных крановых мостов / О. А. Емельянов, В. П. Шепотько, Ю. В. Пихота и др. // Там же. — 2004. — № 5. — С. 33–39.
4. Фишер Дж., Мерц Д. Трещинообразование в стальных мостах // Гражданское стр-во. — 1985. — № 2. — С. 9–13.

Formation of secondary stresses, which are usually not taken into account, and their effect on fatigue of welded overhead travelling cranes are considered.

Поступила в редакцию 04.12.2006

НКМЗ СДАЛ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЭКСКАВАТОР НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НА СТОЙЛЕНСКОМ ГОКе

Новокраматорский машиностроительный завод (Краматорск Донецкой обл.) сдал в эксплуатацию на Стойленском ГОКе (Россия) экскаватор ЭШ 6,5/45.

Новый драглайн НКМЗ создан на базе традиционной модели после переработки проекта с целью улучшения технических параметров и минимизации затрат.

По словам главного механика ГОКа Порфирия Бойко, предпочтение новокраматорскому экскаватору отдано ввиду его большей, чем у других изготовителей этой техники, приспособленности к работе в усложняющихся горно-геологических условиях карьера, производительности, комфортности и, вместе с тем, экономичности и простоте в управлении. Свидетельство тому — еще один контракт с этим ГОКом на производство такой же машины.