

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Тарасов А.Г., Харитин А.В.

Рассмотрен существующий уровень коррозионной стойкости металлических опор «старых» воздушных линий электропередачи (ВЛ) к воздействиям окружающей среды. Показано, что применение для изготовления опор низколегированных сталей, вместо малоуглеродистых, с целью удовлетворения повышенных требований ПУЭ 7-го издания к устойчивости работы ВЛ в экстремальных климатических условиях, может снизить общую долговечность опор, благодаря возможности протекания процессов коррозионной усталости и коррозионного растрескивания, которые необходимо учитывать при проектировании новых конструкций опор.

В новой редакции ПУЭ обобщенный коэффициент надежности конструкции опор по ветровой нагрузке (без гололеда) принимается 1,3 вместо 1,0 по ПУЭ 6-й редакции. Такое увеличение запаса по ветровой нагрузке приводит к тому, что типовые опоры действующей унификации становятся неприменимыми без переработки проектов [1]. Среди прочего, перспективными вариантами такой переработки проектов проектировщики видят замену стали Ст.3 на низколегированную сталь 09Г2с во всех элементах опоры, а также в увеличении сечения некоторых элементов и в изменении класса прочности болтов.

Известно, что Ст.3 это низкоуглеродистая сталь, имеющая ферритную структуру. Сталь же 09Г2с является низколегированной марганцево-кремнистой. Низколегированные конструкционные стали содержат до 0,2% углерода и до 2-3 % легирующих элементов. Упрочнение низколегированной стали основано на легировании феррита марганцем и кремнием [2].

В зависимости от условий эксплуатации и марки стали, используемой для конструкций опор воздушных линий, в материале опоры со временем могут обнаружиться два вида коррозионных процессов: межкристаллитная коррозия и коррозия под механическим напряжением.

В зависимости от агрессивности среды, в которой находятся опоры ВЛ, значения приложенной к ним механической нагрузки, динамики ее изменения и длительности воздействия результатом коррозии под механическим напряжением может быть [3]: сплошная коррозия; ускоренная местная коррозия; коррозионное растрескивание (если нагрузка статическая); коррозионная усталость (если нагрузка циклическая или повторяющаяся).

Для опор ВЛ, несущих статическую нагрузку от веса проводов, тросов, изоляторов и арматуры, а также испытывающих динамические воздействия от ветра, температуры, гололеда, осадков могут проявляться все эти виды коррозионных разрушений.

Однако, первые два вида коррозии могут проявляться лишь в агрессивной атмосфере промышленных зон и приморских районов. Такие коррозионные разрушения в надземной части опор ВЛ легко могут быть обнаружены визуально и измерены штангенциркулем или микрометром. При этом действующий норматив [4] допускает снижение сечения металлических конструкций от коррозии не более чем на 10 % от сечения установленного по проекту.

Натурное обследование коррозионного состояния металлоконструкций опор действующих ВЛ в ряде регионов России и стран СНГ проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 9.908-85 «ЕСЗКЗ. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости», ОСТ 34 025-82 «Система разработки и постановки продукции на производство. Изделия министерства энергетики и электрификации», Пособия по проекти-

рованию усиления стальных конструкций (к СНиП П-23-81), нормативного документа «Объем и нормы испытания электрооборудования». РД 34.45-51.300-97, Сборника методических пособий по контролю состояния электрооборудования и Типовой инструкцией по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800 кВ.

Место измерения коррозионных потерь выбиралось в зоне активного росообразования, в плохо проветриваемых местах конструкции, в местах повышенного механического напряжения, сварных соединениях.

Поверхность уголков конструкций опор, содержащая первоначально лишь вторичную окалину (прокатную) и защитную окраску, за время эксплуатации изменилась (рис.1). Вторичная окалина, как правило, состоит из трех слоев окислов железа с возрастающей степенью окисления по направлению к внешней поверхности. Нижний слой состоит из закиси железа (FeO), средний – из магнетита (Fe₃O₄), а верхний – из окиси железа (Fe₂O₃). Типичная вторичная окалина на листе малоуглеродистой стали толщиной 9,5 мм составляет около 50 мкм и содержит приблизительно 70 % FeO, 20 % (Fe₃O₄) и 10 % (Fe₂O₃).

Если бы вторичная окалина обладала хорошей адгезией к металлу, была сплошной и непроницаемой, то она служила бы хорошим защитным покрытием. Однако на практике прокатная окалина быстро растрескивается и местами отслаивается. Наличие такой окалины может замедлить коррозию стали на воздухе на сравнительно короткий период времени, однако затем скорость коррозии начнет возрастать. При наличии достаточного количества влаги вторичная окалина может приводить к питтинговой коррозии, которая хорошо видна на рис.1. Глубину питтингов для срока службы 30 – 44 года можно считать незначительной. В среднем она не превышает 0,13 мм, а сами питтинги равномерно распределены по поверхности уголков. Таким образом, потеря сечения несущих металлоконструкций опор не превышает допустимых 10 % от установленного по проекту сечения.

На некоторых опорах в сварных швах косыночной части основания стоек опор обнаруживаются следы щелевой коррозии (рис.2, 3).

Что касается коррозионной усталости и коррозионного растрескивания, то эти два вида коррозионных разрушений, как правило, трудно обнаруживаются визуальными методами и в большей степени зависят от параметров механических воздействий на конструкции опор в период эксплуатации, чем от агрессивности атмосферы. Эти разрушения, влияющие на механические свойства металла опор можно оценивать прямыми методами, основанными на замерах (например, перемещений), испытаниях на прочность конструкций, а также на испытаниях физико-химических свойств образцов, вырезанных из конструкции. Первые способы трудоемки, а многократный отбор образцов материалов для испытаний до разрушения средствами металлографии невозможен. В таких условиях могут быть применены методы определения физико-механических характеристик стали на основе неразрушающих испытаний, в частности на основании исследования акустических параметров – коэффициента затухания и скорости распространения упругих волн в материале [5].

Коэффициент затухания и скорость распространения упругих волн в различных веществах обычно называют акустическими параметрами этих веществ. Измерение этих параметров в поликристаллических металлах не только позволяет получить информацию об их структурных особенностях, но и оценить упругие характеристики этих металлов [6].

ГОСТ 9.908-85 «ЕСЗКЗ. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.» допускает использование таких методов при установлении зависимости между основными и применяемыми показателями.

Наличие изменения механических свойств металла, возможного при межкристаллитной коррозии, коррозионном растрескивании или коррозионной усталости – временного сопротивления разрыву, относительного удлинения, ударной вязкости, наличие трещин в нашем случае проверялось сравнением свойств однотипных элементов опор, эксплуатируемых в сходных условиях, подвергавшихся и не подвергавшихся коррозии. Средний показатель механических свойства элементов опоры, не подвергавшихся коррозии, принимали за 100 %. В качестве неразрушающего метода исследования механических свойств металла использовал-

ся акустический способ поверхностного ультразвукового прозвучивания полок несущих уголков опор. Сварные швы также проверялись путем сравнения акустического показателя шва с показателем для целого металла.

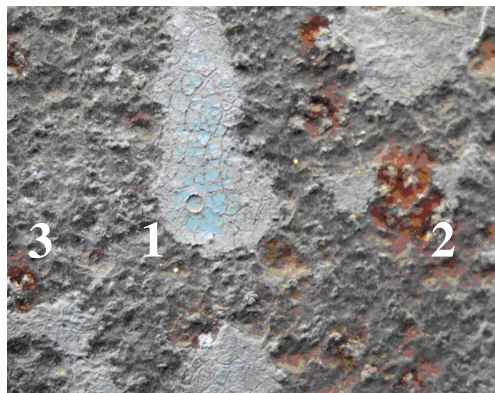


Рис.1 Поверхность несущего уголка опоры № 2 ВЛ 110 кВ «ЗайГРЭС - Каргали» (срок службы 43 года) 1 – зона остаточного защитного покрытия металла; 2 – зона коррозионного разрушения металла; 3 – зона пассивного состояния металла

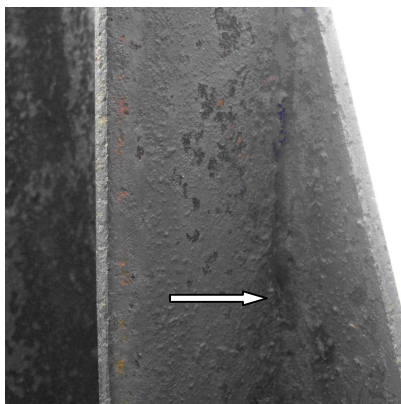


Рис.2 Состояние косыночной части угловой опоры №81 стойка 3 ВЛ 110 кВ «ЗайГРЭС - Каргали» (стрелкой показана сквозное поражение сварного шва щелевой коррозией активизируемой стекающей с опоры дождевой влагой)



Рис.3 Места в косыночной части опоры, способствующие развитию щелевой коррозии металла (Опора № 81 стойка 3)

Средние значения акустического показателя материала конструкций новых опор и опор со сроком службы 20 и 40 лет, представлены ниже в табл.1. Из этой таблицы следует, что разброс значений скорости прохождения ультразвука находится в пределах $\pm 2,5 \%$ от среднего значения по всем обследованным объектам, приведенным в таблице. Такое изменение можно считать несущественным с точки зрения изменения механических свойств металла за время эксплуатации опор, тем более, что среднее по всем данным значение скорости прохождения ультразвука (5406,5 мкс) практически совпадает с аналогичным показателем для новых конструкций (5411,2 мкс). Если же сравнивать этот показатель для отдельных опор одной и той же ВЛ, то будет существовать разница для опор, расположенных в лесной и степной зоне. На продуваемых участках трасс ВЛ наблюдается снижение скорости ультразвука материала промежуточных опор на 5-10%. У анкерно-угловых опор эта разница не превышает 2 %.

Таким образом, можно считать, что за время эксплуатации проверенных металлических опор ВЛ, выполненных из малоуглеродистой стали Ст.3, существенных изменений в материале опор не произошло.

В связи с этим, при оценке технического состояния металлоконструкций таких опор, рассмотрение может браться только потеря их сечения от сплошной, щелевой или ускоренной местной коррозии. Существенное отклонение измеряемых акустических характеристик сварного шва или места пластической деформации конструктивного элемента опоры от аналогичных характеристик целого недеформированного металла также может рассматриваться как дефект.

Таблица 1

Наименование объекта и место расположения	Геометрический размер конструкции, мм	Срок службы, лет	Средняя скорость УЗ, м/с	Примечание
Новосибирский завод металлоконструкций	Уголок с полкой 75x75x6,3	0 (новый)	5411,2	Не оцинкованный
Портальная опора ВЛ 500кВ «Сургутская ГРЭС 1 – Кустовая»	Уголок с полкой 90x90x7	20	5477,6	Не оцинкованный
Портальная опора ВЛ 500кВ «Сургутская ГРЭС 1 – Кустовая»	Уголок с полкой 90x90x7,5	20	5473,2	Оцинкованный
Портал ОРУ-500 ПС «Ново-Анжерская»	Уголок с полкой 150x150x10	43	5494,9	Не оцинкованный
Портальная опора ВЛ 220 кВ «Иркутск-Зима»	Уголок с полкой 80x80x8,2	41	5291,7	Не оцинкованный
Опоры ВЛ 110 кВ «ЗайГРЭС-Каргали»	Уголок с полкой 200x200x16,3	44	5535,0	Не оцинкованный
Опоры ВЛ 110 кВ «ЗайГРЭС-Каргали»	Уголок с полкой 170x170x11,8	44	5319,4	Не оцинкованный
Опоры ВЛ 110 кВ «ЗайГРЭС-Каргали»	Уголок с полкой 150x150x11,9	44	5357,7	Не оцинкованный
Опоры ВЛ 110 кВ «ЗайГРЭС-Каргали»	Уголок с полкой 130x130x11,6	44	5434,8	Не оцинкованный
Опоры ВЛ 110 кВ «ЗайГРЭС-Каргали»	Уголок с полкой 90x90x8,2	44	5357,2	Не оцинкованный
Опоры ВЛ 110 кВ «ЗайГРЭС-Каргали»	Уголок с полкой 80x80x8,4	44	5319,1	Не оцинкованный
Среднее значение			5406,5	

Низколегированные стали ненамного дороже углеродистых, но по сравнению с ними имеют лучший комплекс механических свойств, повышенную хладостойкость, пониженную склонность к охрупчиванию, лучшую свариваемость, повышенную износостойкость и коррозионную стойкость в различных средах. Поэтому их использование для создания опор ВЛ несомненно перспективно, но при этом предыдущий опыт эксплуатации металлических опор, изготовленных из малоуглеродистой стали, не может распространяться на новые конструкции опор без специального анализа и коррозионных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Зевин А.А. Преимущества метода предельных состояний при механическом расчете проводов ВЛ. Сборник докладов первой международной научно-практической конференции Линии электропередачи-2004: опыт эксплуатации и научно-технический прогресс. Новосибирск, 20-24 сентября 2004 года, с.13-20.
- [2] Конструкционные материалы. Справочник. М. Машиностроение. 1990, с. 12.
- [3] Стеклов О.И. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением. – М.: Машиностроение, 1990. 384 с.: ил. с.8.
- [4] Объем и нормы испытания электрооборудования. /под общей редакцией Б.А.Алексеева, Ф.Л.Когана, Л.Г. Мамиконянца. – 6-е изд. –М., НЦ ЭНАС, 1998.-256 с.
- [5] Долговечность строительных конструкций в условиях реконструкции. /Е.В.Горохов, Я. Брудка, М. Лубиньски и др.: Под ред. Е.В.Горохова. – М.: Стройиздат. 1994. – 488 с.: ил. с. 363.
- [6] В.Н.Приходько. Неразрушающий контроль межкристаллитной коррозии. - М.: Машиностроение, 1982. – 101 с., ил.