

УДК 621.791.75

Бондарев С. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СВАРКЕ ОТВЕТСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

При сварке ответственных металлоконструкций, к которым относится подъемно-транспортное оборудование, возникает проблема, связанная с повышенной склонностью металла шва к образованию холодных трещин [1]. Одной из теорий, описывающих механизм замедленного разрушения сталей, т. е. образования холодных трещин, является «водородная» теория [2, 3]. Водородная гипотеза исходит из того, что при сварке водород из защитной атмосферы дуги и электродного металла переходит в расплавленный металл сварочной ванны и в большом количестве растворяется в нем. Наряду с этим возможен приток водорода к сварному шву из основного металла в результате процесса термодиффузии. В процессе кристаллизации растворимость водорода в шве резко снижается [4]. В результате этого шов и околошовная зона оказывается пересыщенными водородом. Часть выделяющегося водорода выходит на поверхность и удаляется в атмосферу. Другая часть абсорбируется в различного рода микроскопических пустотах металла (микропорах, микротрещинах; границах блоков, зерен, неметаллических включениях, скоплениях дислокаций и т. п.). Переход водорода в коллекторы сопровождается молизацией водорода и в значительной мере является необратимым процессом. Водород, концентрируясь вблизи микропустот, при наличии трехосного напряженного состояния создает области локальных деформаций, что сопровождается образованием микротрещин [3, 4].

Таким образом, одним из основных факторов, оказывающих влияние на образование холодных трещин, являются содержание водорода в металле сварного соединения после сварки, зависящее от концентрации водорода в защитной среде, исходного содержания водорода в основном и электродном металле [5].

Целью данной работы является исследование влияния условий сварки и состояния электродных покрытий на склонность сварных соединений к образованию холодных трещин и разработка технологического процесса снижения влажности электродных покрытий.

Производственный опыт изготовления сварных конструкций сталей показал, что замедленное разрушение сварных соединений зачастую носит эпизодический характер. Это затрудняет выявление основных причин разрушения, не гарантирует качественного изготовления конструкций и не позволяет предусмотреть меры по его предупреждению. Разрушение носит как локальный характер в виде трещин, расположенных в металле сварного шва, или в околошовной зоне, так и характер общего разрушения конструкции в зоне сварки. Трещины проявляются в процессе вылеживания конструкции после сварки от 2...3 часов до нескольких суток. Имеются случаи появления трещин в сварных конструкциях при их хранении в течение гораздо более длительного срока.

Были проведены исследования по влиянию влаги, содержащейся в окружающей среде и в электродных покрытиях, на содержание водорода и склонности наплавленного металла к образованию холодных трещин.

Для оценки сопротивляемости сталей и сварочных материалов замедленному разрушению применялся метод ЛТП2, заключающийся в нагружении сварных образцов постоянной длительно действующей нагрузкой. Содержание водорода (а также кислорода и азота) в сварных соединениях определялось по спиртовой пробе и методом вакуум-экстракции (диффузионноподвижный водород), а также методом вакуум-плавления (остаточный водород).

Для проверки влияния условий сварки, в частности влажности воздуха, проводились исследования с использованием камеры искусственного климата. В камере предусмотрена возможность создавать повышенную влажность воздуха. Это осуществляется наличием испарителя воды, работа которого автоматически регулируется с помощью датчика влажности. Равномерность распределения паров воды внутри камера осуществляется с помощью вентилятора. Конструкция камеры позволяет производить все способы ручной и автоматической дуговой сварки. Параметры влажности внутри камеры:

- температура – от комнатной до 45 °С;
- относительная влажность – от комнатной до 98 %;
- абсолютная влажность – от комнатной (8...13) до 35 г/м³;
- объем камера – 2 м³.

Исследования проводились на стали 10X16H4Б толщиной 2 мм с использованием электродов УОНИИ-13НЖ типа Э-10X16H4Б (по ГОСТ 10052-75). Электроды предварительно прокаливались для исключения влияния влажности электродного покрытия.

Образцы после сварки нагружали на установке ЛТП2-5 равномерно-распределенной, постоянной, длительно-действующей (до 20–24 ч) нагрузкой. За показатель сопротивляемости замедленному разрушению (образованию холодных трещин) принималось минимальное напряжение от внешней нагрузки, которое вызывает образование трещин в течение принятого периода испытаний. С помощью спиртовой пробы определялось содержание диффузионно-подвижного водорода в металле шва. Для этого на принятых условиях и режимах сварки проплавливали исследуемый металл, закачивали его в воде и помещали в эвдиометры со спиртом, где выдерживали до прекращения выделения водорода. Выделение водорода наблюдалось в течение 6–10 суток.

Экспериментальные данные представлены на рис. 1. Опыты показали, что повышение абсолютной влажности воздуха выше 13–15 г/м³ приводит к замедленному разрушению сварных соединений. Такому значению абсолютной влажности соответствует содержание диффузионно-подвижного водорода около 2 см³/100 г металла.

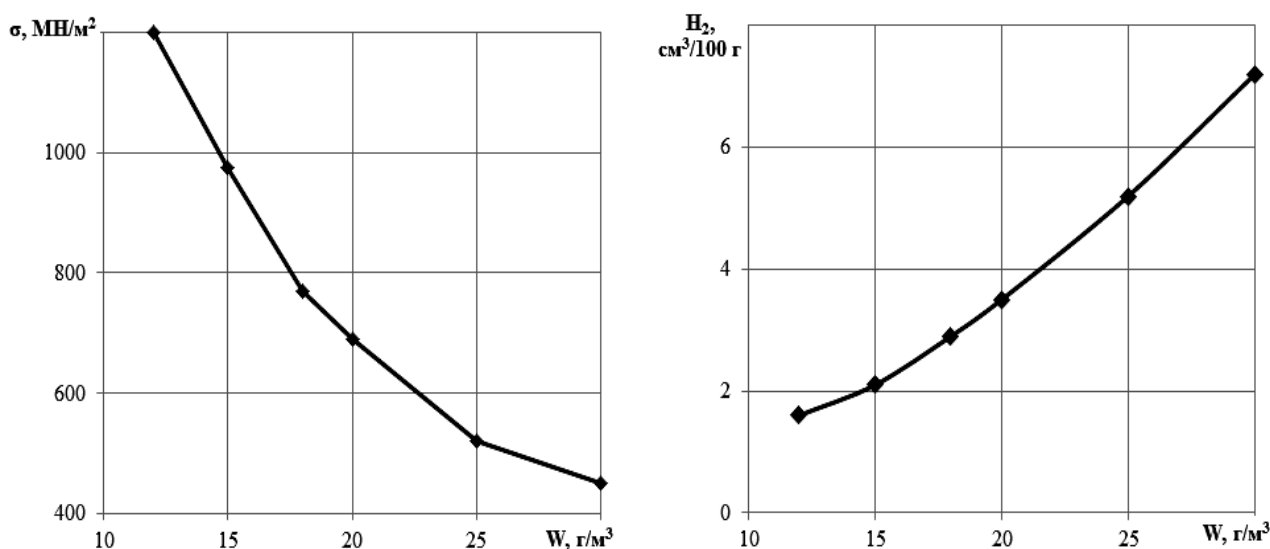


Рис. 1. Зависимость показателя сопротивляемости замедленному разрушению (σ) и содержания диффузионно-подвижного водорода (H_2) от абсолютной влажности в камере искусственного климата

На следующем этапе исследовалось влияние состояния электродного покрытия при ручной дуговой сварки на склонность к замедленному разрушению (холодным трещинам)

стали 10X16H4Б. Сварка осуществлялась электродами ЭП56 со стержнем 10X16H4Б. При этом использовались электроды в следующих состояниях: обработка паром в течение 3 ч; в состоянии поставки; прокалка в течение 3 ч при температурах 100, 200, 300 и 400 °С.

Методом вакуум-плавления определялось содержание водорода, а также кислорода и азота в наплавленном металле. Предварительно для определения диффузионноподвижного водорода навески металла после сварки помещались в эвдиометры со спиртом, где выдерживались до 10 суток – до прекращения выделения водорода. Эти же навески подвергались вакуум-плавлению. Полное содержание водорода определялось как сумма диффузионноподвижного и остаточного водорода. Толщина металла составляла 3 мм, диаметр электродов – 3 мм.

Экспериментальные данные приведены на рис. 2.

Применение недостаточно прокаленных электродов приводит к образованию продольных трещин в шве. Содержание водорода в шве и склонность металла к трещинам возрастают с повышением влажности покрытия электродов. Заметного изменения в содержании азота или кислорода и самое главное – связи их содержания с влажностью покрытия электродов, т. е. со склонностью к замедленному разрушению не наблюдается. Это позволяет считать, что основной причиной замедленного разрушения исследованной стали 10X16H4Б, в случае ее сварки покрытыми электродами, является повышенное содержание водорода в шве. Отсутствует разрушение только при использовании прокаленных электродов.

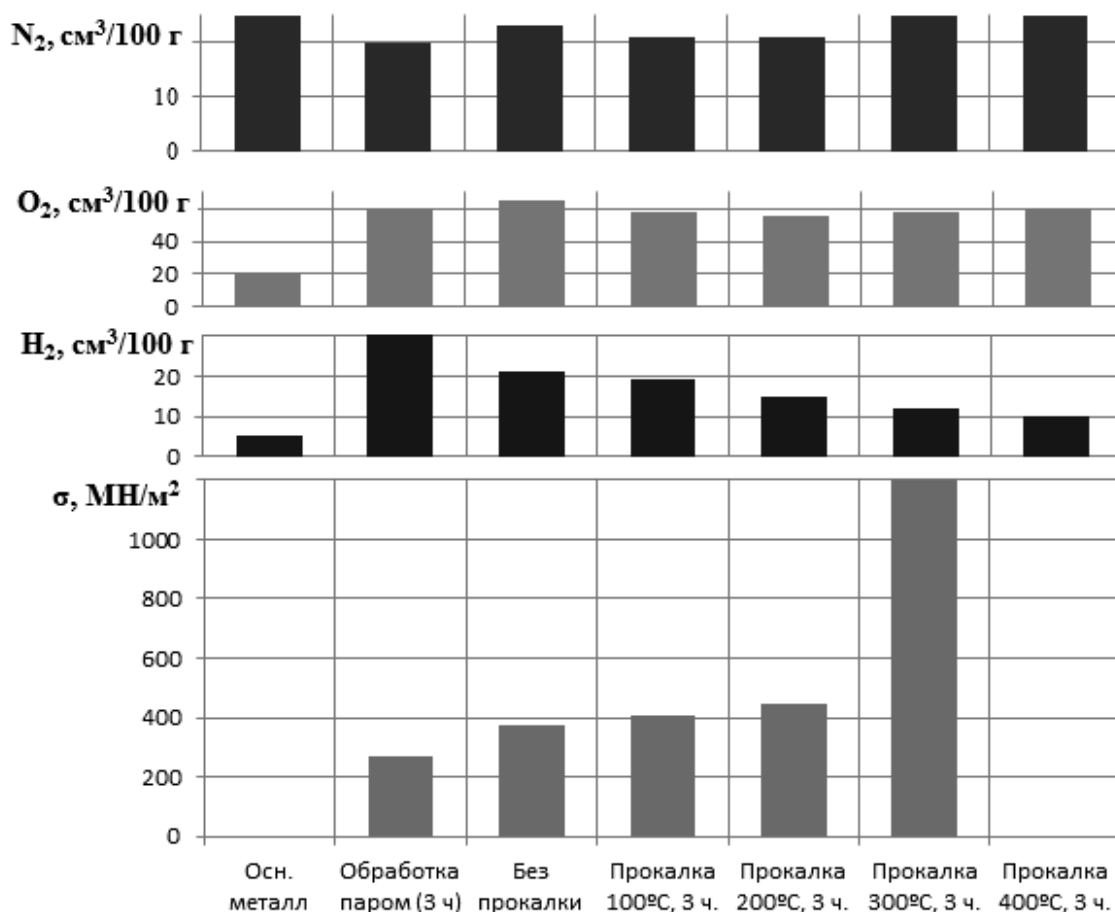


Рис. 2. Влияние влажности и температуры прокалки электродов на сопротивляемость замедленному разрушению и на содержание водорода, кислорода и азота в шве

Предварительная прокалка электродов перед сваркой является наиболее распространенным способом обеспечения требуемой влажности покрытия, при которой не происходит

образования холодных трещин. Для ответственных конструкций это значение не должно превышать $5\text{--}6\text{ см}^3/100\text{ г}$ металла. Довольно высокие температуры (до 400°C) и длительность процесса прокалики ($2,5\text{--}3,0$ часа) приводят к значительному расходу электроэнергии. Кроме того, требуется наличия на предприятии-потребителе электродов дополнительного технологического оборудования: сушильных печей и т. п.

С целью получения влагостойких электродов, обеспечивающих стабильно высокие сварочно-технологические свойства при благоприятных гигиенических характеристиках независимо от условий и длительности их хранения, была разработана специальная технология их производства. [6]. По предлагаемой технологии которм производят погружение прокаленных электродов на $1\text{--}2$ с в емкость с малополярными мономерами винильного или алкильного ряда и перекисным инициатором с их последующей термообработкой при температуре полимеризации малополярных мономеров.

Покрытые электроды, изготовленные по данному способу, за счет образования после термообработки (полимеризации) тонкой влагостойкой пленки, защищены от капиллярного подсоса влаги из атмосферы независимо от условий и длительности хранения электродов. Тем самым отпадает необходимость в энергоемкой технологической прокалике электродов перед сваркой.

Пластические свойства наплавленного металла, полученного с применением влагостойких электродов, практически одинаковы с основным металлам при более высоких прочностных свойствах. Относительное сужение наплавленного металла составляет $56\text{--}74\%$, основного металла – $19\text{--}52\%$. Относительное удлинение основного металла – $9\text{--}21\%$, наплавленного – $15\text{--}17\%$.

ВЫВОДЫ

Проведенные эксперименты показали, что повышение содержания водорода приводит к некоторому снижению прочностных и значительному снижению пластических характеристик сварных соединений. Наибольшее снижение пластичности сварных соединений имеет место при увеличении водорода до $5\text{--}8\text{ см}^3/100\text{ г}$, что совпадает с величиной критического содержания водорода, вызывающего замедленное разрушение.

Источниками водорода являются недостаточно прокаленные электроды, повышенная влажность воздуха в зоне сварки.

Использование электродов с нанесенным полимерным защитным покрытием позволяет получать влагостойкие электроды с высокими сварочно-технологическими свойствами и устранить высокотемпературную обработку электродов перед их использованием, упростить условия проведения ремонтных и восстановительных работ металлоконструкций подъемно-транспортного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тархов Н. А. Производство металлических электродов. Учеб. пособие для проф. обучения рабочих на пр-ве / Н. А. Тархов, З. А. Сидлин, А. Д. Рахманов. – М. : Высш. шк., 1986. – 288 с.
2. Руге Ю. Техника сварки : справ. изд. / Ю. Руге. – М. : Металлургия, Машиностроение, 1984. – 552 с.
3. Мазель А. Г. Современные способы сварки магистральных трубопроводов / А. Г. Мазель, В. Д. Тарлинский, М. З. Шейкин. – М. : Недра, 1979. – 256 с.
4. Hopkins I. S. Cose and General Theory of the Cracking of Alloy Steels Welding / I. S. Hopkins, A. Sangist // *Welding Journal*. – 1974. – № 11. – P. 98–112.
5. Походня И. К. Влияние некоторых технологических факторов на содержание диффузионного водорода в швах, сваренных электродами с основным покрытием / И. К. Походня, И. Р. Явдоцин, Б. В. Юрлов // *Автоматическая сварка*. – 1981. – № 1. – С. 31–34.
6. Бондарев С. В. Зниження витрат на електроенергію при ручному дуговому зварюванні покритими електродами / С. В. Бондарев, В. Д. Кассов // *Тези доповідей 6-го Міжнародн. симпозиуму українських інженерів-механіків*. – Львів, 2003. – С. 129.