

# Металлургические аспекты влияния марганца и кремния на сварочно-технологические свойства проволок типа Св-08Г2С

В.А. Медюшко, О.Н. Разоренов, В.И. Криворотов, А.В. Титов

Общеизвестно, что в стали, представляющей собой сложный многокомпонентный сплав, марганец и кремний содержатся в качестве постоянных (или неизбежных) примесей. Марганец и кремний переходят в сталь в процессе ее раскисления при выплавке. В углеродистой стали содержание кремния обычно не превышает 0,35-0,4 % и марганца 0,5-0,8 %. Процессы раскисления, в целом, улучшают свойства стали. Однако кремний, повышая прочность, в тоже время существенно снижает пластические свойства стали. Марганец заметно повышает прочность, практически не снижая пластичность. Кроме того, он значительно уменьшает «красноломкость» – хрупкость при высокой температуре стали, вызванную влиянием серы, связывая серу в сульфиды. Марганец также нейтрализует вредное воздействие фосфора. Это особенно важно, так как повышенное содержание фосфора в металле шва снижает пластичность и ударную вязкость (стойкость к хрупкому разрушению при динамических нагрузках в области отрицательных температур) [1].

Марганец и кремний являются в стали и легирующими элементами. Их влияние на свойства легированной стали также неоднозначно. Марганец, являясь аустенитизатором, расширяет область аустенитного превращения. Кремний, наоборот, способствует сужению  $\gamma$ -области [1].

Поскольку кремний и марганец составляют основу легирования сварочных проволок типа Св-08Г2С, стоит остановиться на вопросах влияния их на сварочно-технологические свойства проволок указанного типа несколько подробнее [2,3].

Благодаря детальному изучению процессов сварки определены количественные соотношения оптимального содержания кремния и марганца в металле шва, выполненного ручной дуговой сваркой покрытыми электродами или автоматической сваркой под слоем флюса. Исследованиями установлено, что повышенное (выше некоторого критического) содержание марганца, кремния и фосфора в металле сварного шва сталей типа 15Х2НМФА может

привести к развитию процессов, вызывающих отпускную и тепловую хрупкость. Особенно это проявляется в крупногабаритных конструкциях, которые подвергают термообработке после сварки. Ориентировочно принято, что во избежание охрупчивания металла шва суммарное содержание кремния и марганца в нем не должно превышать 1,2 %. То есть, при содержании кремния 0,2 % и 0,45 % марганца должно быть не более 1 % и 0,75 % соответственно [4-7].

**Что касается сварки под флюсом, то требуемое качество сварных соединений обеспечивается получением металла шва с оптимальным содержанием кремния и марганца,** приводящим к образованию в сварочной ванне продуктов раскисления в жидком состоянии, способных коагулировать и удаляться в шлак. При этом достигается достаточно полная степень раскисления металла сварочной ванны, что обеспечивает пониженное содержание неметаллических включений, которые, к тому же, имеют оптимальную для процесса глобулярную форму [4,6,7].

При ручной сварке штучными электродами с основным покрытием в металле шва необходимо обеспечить соотношение между марганцем и кремнием Mn/Si на уровне 2,2. При отклонении от этой пропорции сопротивление металла шва к хрупкому разрушению заметно снижается. Значение данного соотношения достаточно хорошо коррелирует с известной диаграммой Кербера и Ользена, описывающей особенности взаимодействия продуктов раскисления в стали [5].

Основываясь на анализе представленных выше данных, можно сделать выводы о целесообразности оптимизации количественного соотношения кремния и марганца, используемых в качестве легирующих элементов в проволоках сплошного сечения типа Св-08Г2С для полуавтоматической сварки в защитных газах.

По нашим данным, в сварочной проволоке марки W-10 производства венгерского завода «ISAF Kft» количественное соотношение между содержанием марганца и крем-

ния находится на достаточно оптимальном уровне, обеспечивающем высокие сварочно-технологические свойства и механических свойства сварных соединений. Многолетний опыт практического использования, постоянный анализ качества проволоки W-10 указывают на пригодность ее использования для полуавтоматической сварки металлоконструкций ответственного назначения [3,8].

По данным статистической обработки плавочного состава партий проволоки W-10 установлено, что отношение Mn/Si составляет  $1,68 \pm 0,09$ . При указанном соотношении и при абсолютных средних значениях марганца 1,435 и кремния 0,855 этого количества оказывается вполне достаточно для «борьбы» с вредными примесями: связывания серы в сульфиды марганца и нейтрализации вредного воздействия фосфора. Особенно, если учесть, что суммарное содержание серы и фосфора невелико и составляет 0,022 % [3].

Известно, что для эффективного связывания серы в сульфиды в автоматной стали, количество марганца может превышать в 19,4 раза количество серы, которое обычно составляет 0,08-0,3 % [9].

В сварочной проволоке W-10 среднее содержание марганца превышает содержание серы в  $1,435/0,011=130,4$  раз. Этого количества марганца оказывается вполне достаточно для выполнения не только своих рафинирующих функций в сварочной ванне при сварке.

Так, например, в проволоке Св-08Г2С по ГОСТ 2246 среднее значение соотношения Mn/Si составляет  $1,95/0,83=2,3$ , при этом суммарное содержание серы и фосфора в ней равно 0,03 %. Расчеты показывают, что при содержании суммы указанных вредных примесей в количестве 0,022 % в проволоке W-10, достаточным является соотношение Mn/Si, равное 1,68. Исходя из того, что в рассматриваемом случае количество вредных примесей уменьшилось в  $0,03/0,022=1,36$



раза, и, значит, правомерно использовать сварочную проволоку с соотношением в 1,36 раза меньшим, чем установленное значение 2,3, т.е.  $2,3/1,36=1,69$ . Это, по нашему мнению, является обоснованием достаточности количества марганца и кремния в проволоке W-10.

Расчеты ожидаемой прочности металла шва, выполненные по известным формулам подтверждены результатами механических испытаний образцов сварных соединений и многолетним практическим использованием проволоки предприятиями судостроения и машиностроения [8].

Пониженное содержание марганца и кремния в сварочной проволоке W-10 оказывается положительным по многим другим показателям теории и практики сварочных процессов. В частности, снижается сварочный эквивалент металла сварочной проволоки, рассчитанный по известным формулам [10], уменьшается с  $C_s=0,57$  (у проволоки с содержанием марганца около 2 %) до  $C_s=0,5$  у W-10. Следовательно, повышаются ее сварочно-технологические свойства, в том числе, по сравнению с проволоками с содержанием марганца на уровне 2 %. В 1,8 раз по сравнению с проволоками с повышенным содержанием марганца снижается разбрызгивание электродного металла. Образуется меньше «чешуйчатости», значительно уменьшается стекловидная составляющая, возникающая на поверхности сварочного валика в результате окислительно-восстановительных процессов при сварке.

Пониженное абсолютное содержание марганца в соотношении с содержанием кремния, весьма положительно сказывается на об-

разовании благоприятной металлографической структуры в зоне сварного соединения. Это характеризуется, прежде всего, отсутствием ярко выраженной грубозернистой литой структуры в металле шва, а также минимальной протяженностью зоны термовлияния (ЗТВ). Уменьшенное содержание марганца уменьшает вероятность образования закалочных структур мартенситного типа. Полученные в результате замеров значения твердости по ЗТВ не превышают 300 единиц по Виккерсу (HV).

Следует также отметить и другие положительные показатели сварочной проволоки с «экономной» системой легирования по основным элементам. И не только по чисто экономическим показателям, так как вполне очевидно, что при прочих равных условиях стоимость экономно легированного металлопроката значительно ниже, чем у его аналога из стали, содержащей большее количество легирующих элементов.

Избыток марганца в сварочной проволоке вреден также и по экологическим соображениям. При сварке в среде  $CO_2$  на токах  $I=200-300$  А выделяется 0,35-0,45 г/мин сварочных аэрозолей. Из общего количества металлической пыли, выделяемой при сварке 98,9 % пылевидных частиц, входящих в состав таких аэрозолей имеют размер менее 0,4 мкм (микрона) и только 1,1 % имеют размер в от 0,4-1,0 мкм и более.

Сложность выбора средств индивидуальной защиты при таких размерах, увеличивает вероятность того, что в итоге частицы могут отрицательно повлиять на здоровье сварщика. Сверхмелкие частицы способны проникать в альвеолы легких и вызывать раковые заболевания органов дыхания.

Кроме того, соединения марганца могут оказывать токсичное действие на организм человека. ПДК марганца в воздухе составляет 0,3 мг/м<sup>3</sup>. При выраженном отравлении наблюдается поражение двигательной системы с характерным синдромом марганцевого паркинсонизма [11].

В качестве заключения можно сделать вывод о том, что сварочные проволоки для полуавтоматической сварки в защитных газах с «экономным» содержанием легирующих элементов обладают бесспорными преимуществами по показателям качества, высокими сварочно-технологическими свойствами и обеспечивают получение металла шва с требуемыми механическими характеристиками. Такие проволоки являются более экологически чистым продуктом по сравнению с проволоками подобного типа, содержащими повышенное количество аналогичных легирующих компонентов.

Библиографический список:

1. А.П. Гуляев. Металловедение. М. «Металлургия», 1986. 544 с.
2. ГОСТ 2246. Проволока стальная сварочная. Технические условия.
3. Анализ показателей качества сварочной проволоки методом статистической оценки стабильности ее химического состава. В.А. Медюшко, О.Н. Разоренов, В.И. Криворотов, Ю.В. Медюшко. «Индустрия» № 2(49)/2007, с. 76-77.
4. Металлургические свойства флюсов ОР121ТТ и ОР122 при однодуговой, тандем и трехдуговой сварке. Серия: Сварка. Эксперсс-информация, под ред. И.Д. Кулагина, № 41, М. 1990, с. 1-9.
5. Исследование гранулированных низкокремнистых ферросплавов для производства электродов с основными покрытиями. И.К. Походня, А.Е. Марченко, Ю.Г. Орлов и др. Новые сварочные материалы, ЛДНТП, Л. 1978, с. 55-60.
6. Планирование эксперимента при оптимизации и обосновании состава флюса. Р.П. Виноградов, В.А. Игнатов, Б.Т. Тимофеев и др. «Вопросы судостроения». Серия «Сварка», 1980, вып. 29, с. 10-17.
7. Влияние кремния, марганца, титана и азота в хромоникельмолибденовом металле шва на склонность к отпускной и тепловой хрупкости. Р.П. Виноградов, М.З. Погорельская, Ю.И. Шкатов. «Вопросы судостроения». Серия «Сварка», 1980, вып. 29, с. 52-58.
8. Некоторые особенности металлургического передела и применения проволоки типа Св-08Г2С при механизированных способах сварки. В.А. Медюшко и др. «Индустрия» № 5(52)/2007.
9. Технологические основы обеспечения качества машин. Под общей редакцией акад. АН СССР К.С. Колесникова, М. «Машиностроение», 1990, 254 с.
10. Правила классификации и постройки морских судов. Российский Морской Регистр судоходства. Т. 2, 2005.
11. Ю.М. Шиллов, Ю.И. Смушкевич, П.М. Чукуров, и др. Общая химия. М., 1983.



**Компания «Сварка-Трейд»**  
 Россия, 198095,  
 г. Санкт-Петербург,  
 ул. Швецова, дом 23.  
 Тел./факс: +7 (812) 337-29-97  
 (многоканальный)  
 e-mail: svarka-trade@mail.ru  
[www.svarka-trade.ru](http://www.svarka-trade.ru)