

9. Шкала цвета Ral [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://vseokraskah.net/shkala-ral>.

10. Соколов, Ю.В. Исследование оксидных пленок, полученных методом высоковольтного электрохимического оксидирования / Ю.В. Соколов, В.А. Кукареко, А.А. Паршутто // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.* – Минск: БНТУ, 2014. – Вып. 35. – С. 199–207.

11. Технология получения многофункциональных оксидных покрытий на деталях из алюминиевых сплавов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / А.А. Паршутто ; Гос. науч. учр-е «ФТИ НАН Беларуси». – Минск, 2016. – 23 с.

12. Соколов, Ю.В. Исследование влияния режимов оксидирования на цветовую гамму оксидных пленок / Ю.В. Соколов, А.А. Паршутто, А.А. Марышева // *Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, январь, 2016; в 2 т.* / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол. – Минск, 2016. – Т. 1. – С. 408.

УДК 626.791

Н.И. УРБАНОВИЧ, канд. техн. наук,
К.Э. БАРАНОВСКИЙ, канд. техн. наук,
И.Б. ПРОВОРОВА, канд. техн. наук,
Е.В. РОЗЕНБЕРГ (БНТУ),
А.А. РАДЧЕНКО, канд. техн. наук,
З.В. ИГНАТОВИЧ (ОХП «Институт
сварки и защитных покрытий НАН Б»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК В ПОКРЫТИИ ЭЛЕКТРОДОВ МАРКИ УОНИ-13/55 НА ГЛУБИНУ ПРОПЛАВЛЕНИЯ СТАЛИ МАРКИ СТ. 3 И МИКРОСТРУКТУРУ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Сварка электродами с покрытиями в настоящее время является ведущим технологическим процессом при монтаже и ремонте оборудования промышленных предприятий.

На ряде предприятий Республики Беларусь выпускаются электроды наиболее распространенных марок для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Следует отметить, что электроды, выпускаемые отечественными производителями, уступают зарубежным аналогам. Сварочные электроды, выпускаемые предприятиями Республики Беларусь, не всегда обеспечивают качество сварных соединений, главным образом, из-за низких сварочно-технологических свойств и получаемой структурой металла шва.

Как показали современные исследования, введение в состав металлургических и сварочных материалов добавок, содержащих нано- и ультрадисперсные частицы, резко повышает их эффективность за счет небольшого количества добавляемых частиц, увеличения площади контакта, а также повышения активности веществ [1, 2].

В последние годы отмечается быстрый рост научного, промышленного и коммерческого интереса к наноразмерным и ультрадисперсным материалам, появление которых отразило стремление к миниатюризации в практике построения различных объектов. Такие материалы обладают необычной атомно-кристаллической решеткой и демонстрируют уникальные свойства.

На сегодняшний день становится актуальным вопрос о применении наноструктурированных порошков при дуговой сварке плавящимся электродом. Предполагается усовершенствовать наиболее распространенные в Республике Беларусь марки электродов для сварки углеродистых и низколегированных сталей (УОНИ-13/55, МР-3).

Согласно ГОСТ 2601-84 «Сварка металлов. Термины и определения основных понятий» глубина проплавления – это наибольшая глубина проплавления основного металла в сечении шва или наплавленного валика. Глубина проплавления при дуговой сварке зависит от многих параметров, например, способа сварки, силы сварочного тока и напряжения, рода тока, полярности, угла наклона электрода, а также сварочного материала.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния модифицирующих добавок в покрытии электродов марки УОНИ-13/55 на глубину проплавления и структуру металла шва при наплавке валика на сталь марки Ст. 3.

В качестве добавок в покрытие электродов использовали отсеы модификаторов «L-cast» и «МС», применяемых в металлургической промышленности для модифицирования чугунов и сталей. Отсев модификатора марки «L-cast» имеет в своем составе такие химические элементы, как барий, стронций, калий, кремний, алюминий и представляет собой смесь устойчивых соединений щелочноземельных металлов в виде карбонатов.

Отсев модификатора «МС» содержит элементы IV и V групп периодической системы и фтор, и представляет собой смесь в виде оксидов (% масс): циркония (4–5), титана (3–4), ниобия (3–4), остальное – солей фтора в виде криолита (79–81).

Для проведения исследований добавку, которую смешивали с жидким натриевым стеклом, наносили кисточкой на покрытие стандартных электродов марки УОНИ-13/55 диаметром 3,0 мм. Процентное содержание добавок в экспериментальных электродах по отношению к массе покрытия составило от 0,6 до 1,0 %. Взвешивание осуществляли на электронных весах Scout Pro «SPU202», имеющих погрешность $\pm 0,03$ г.

Наплавочные эксперименты выполняли на пластинах из стали марки Ст.3 размером 200×150×60 мм. Наплавку проводили инвертором марки КЕМРПИ. Чтобы исключить влияние сварщика на сварку, сварочный процесс проводили в автоматическом режиме подачи электрода на экспериментальной установке, представленной на рисунке 1. Скорость подачи электрода определили экспериментальным путем (200 мм/мин). Наплавку проводили на следующих режимах: сила сварочного тока $I_{св} = 68–70$ А, напряжение сварочной дуги $U_{д} = 18$ В. Для возбуждения дуги использовали угольный электрод.

Внешний вид наплавленного валика на пластину показан на рисунке 2.

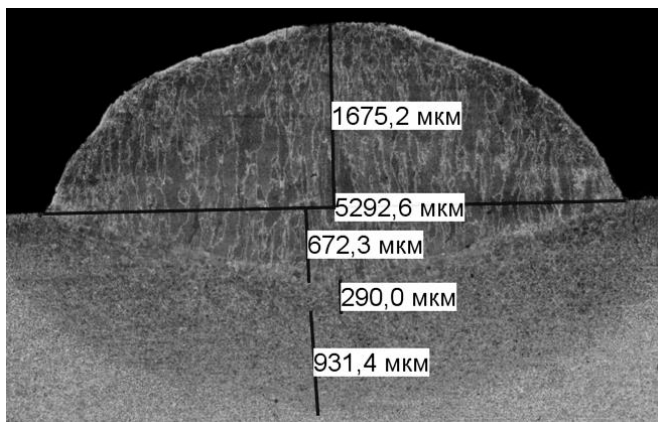
Затем вырезали темплеты и изготавливали шлифы, по которым проводили замеры параметров наплавленного шва и зоны термического влияния (ЗТВ). На рисунке 3 представлены макрошлифы наплавленных валиков, а в таблице 1 результаты измерений наплавленного шва и ЗТВ. Замеры параметров наплавленного металла и ЗТВ проводили, используя программу SIAMSL. Погрешность измерения составляет $\pm 0,05$ мкм.



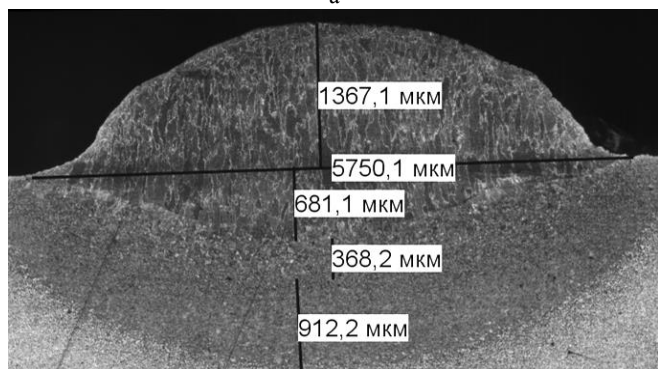
Рисунок 1 – Экспериментальная установка для наплавки в автоматическом режиме подачи электрода



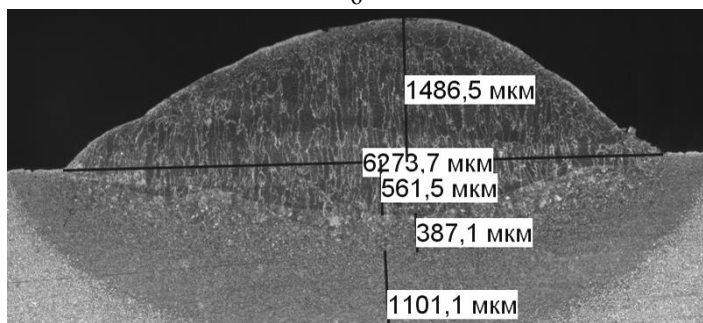
Рисунок 2 – Внешний вид наплавленного валика



а



б



в

Рисунок 3 – Макрошлифы наплавленных валиков контрольного образца (а), и с добавками: б – «МС» – 0,6 % , в – «L-cast» – 1,0 %

Таблица 1 – Размеры наплавленных валиков

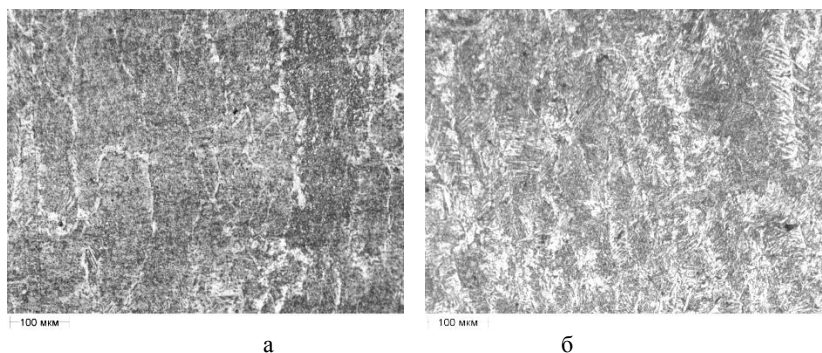
Номер опыта	Наименование добавки и ее количество, %	Глубина проплавления, мкм	Ширина шва, мкм	Высота выпуклости, мкм	Ширина ЗТВ, мкм	Ширина зоны сплавления, мкм
1	Отсев модификатора «МС» -0,6	681,1	5750,1	1367,1	912,2	368,2
2	Отсев модификатора «L-cast» -1,0	561,5	6273,7	1486,5	1101,1	387,1
3	Стандартный электрод марки УОНИ-13/55	672,2	6165,9	1394,5	925,4	327,2

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что добавки, введенные в покрытия электродов, оказали воздействие на размеры наплавленного шва, глубину проплавления и ЗТВ. Так, добавка в покрытие отсева модификатора «L-cast» уменьшила глубину проплавления, увеличила ширину шва, высоту выпуклости и ЗТВ. Уменьшение глубины проплавления и увеличение ширины шва, по-видимому, связано с дополнительным присутствием в покрытии элементов с низким потенциалом ионизации, что обуславливает достаточную степень ионизации периферийных участков дуги. Происходит расширение столба дуги, плотность тока в нем снижается и уменьшается проплавляющая способность дуги [3].

В швах, выполненных электродами с добавками отсева модификатора «МС», глубина проплавления наплавленного валика по сравнению с контрольным увеличилась на 8,9 мкм, а ширина шва, высота выпуклости и ширина ЗТВ уменьшились. Увеличение глубины проплавления в данном случае, по-видимому, связано с присутствием в добавке фтора, который оказывает дестабилизирующее влияние на дугу. В околосдуговом пространстве в результате захвата молекулами фтора электронов проводимости образуются электроотрицательные ионы. При этом общее электропроводное сечение столба дуги уменьшается, а концентрация тепловой энергии и плот-

ность тока в нем значительно повышается, что приводит к увеличению глубины проплавления [4].

На рисунке 4 представлены микроstructures наплавленных швов, полученных электродом марки УОНИ-13/55 без модифицирующей добавки и с добавкой отсева модификатора «L-cast», изучение которых осуществляли на оптическом микроскопе ALTA MI.



а – образец контрольный $\times 500$; б – образец с добавкой «L-cast» $\times 500$

Рисунок 4 – Микроstructures наплавленных валиков контрольного образца и с добавкой «L-cast»

Микроstructure наплавленных валиков представляет собой перлитные зерна, окруженные оболочкой феррита. Следует отметить, что величина зерна наплавленного валика, полученного электродом без добавки, составляет от 200 до 300 мкм.

Металл наплавленных валиков, полученных электродом с добавками модификаторов «L-cast», имеет более дисперсную структуру. Величина зерна наплавленного валика, модифицированного добавкой «L-cast» в 2–3 раза меньше, чем у контрольного образца и составляет от 50 до 150 мкм, а «МС» – от 100 до 200 мкм.

Проведение сравнительных испытаний свойств металла шва на растяжение и на статический изгиб показало, что все покрытия влияют на свойства металла шва. Результаты свойств металла шва электродов марки УОНИ-13/55 диаметром 3,0 мм с покрытиями и без них показали, что электроды с нанесенными покрытиями и без них имеют значение временного сопротивления разрыву, Н/мм²:

- «МС» – 534,3;
- «L-cast» – 546,7;
- без покрытия – 524,0.

Таким образом, установлено, что применение в составе покрытия электродов для ручной дуговой сварки добавок в виде отсевов модификаторов приводит к измельчению структуры наплавленного металла и изменению параметров геометрических размеров наплавленного валика.

Выводы:

1. В результате проведенных исследований установлено, что добавка в покрытие отсева модификатора L-cast уменьшила глубину проплавления, увеличила ширину шва, высоту выпуклости и ЗТВ, а добавка отсева модификатора «МС» увеличила глубину проплавления наплавленного валика по сравнению с контрольным на 8,9 мкм, а ширину шва, высоту выпуклости и ширину ЗТВ уменьшила.

2. Показано, что ввод в покрытие отсевов модификаторов измельчил структуру в 2–3 раза (от 200–300 мкм до 50–150 мкм) и изменил морфологию зерна металла шва.

Литература

1. **Хрычиков, В.Е.** Ультрадисперсные модификаторы для повышения качества отливок / В.Е. Хрычиков, В.Г. Калинин // Литейное производство. – 2007. – № 7. – С. 2–5.

2. **Борд, Н.Ю.** Газотермический синтез компонентов электродных покрытий в контролируемых атмосферах / Н.Ю. Борд, В.К. Шелег. – Минск: НИКТИСП с ОП, 2002. – 140 с.

3. **Савицкий, М.М.** Механизм влияния электроотрицательных элементов на проплавляющую способность дуги с вольфрамовым катодом / М.М. Савицкий, Г.И. Лесков // Автоматическая сварка. – 1980. – № 9. – С. 17–22.

4. **Паршин, С.Г.** Влияние активирующих флюсов на формирование сварных швов при ручной аргонодуговой сварке / С.Г. Паршин // Сварочное производство. – 2000. – № 10. – С. 23–26.