

Рис. 2. Отклонения результатов расчета уширения от экспериментальных данных при прокатке в двух- и трехвалковых калибрах

пластичности металла и т.п. [8]. Применение способа расчета уширения, предложенного в МГТУ, обеспечивает высокую скорость расчета. Например, в случаях, когда требуется пересчет огромного числа различных нетиповых сечений при поиске оптимальной формы калибра по тому или иному критерию оптимальности (минимум работы деформации, максимум критерия эффективности калибровки и т.п.), использование формул – наиболее подходящий вариант расчета уширения. В отсутствие другой универсальной методики расчет уширения с помощью МКЭ – единственный способ моделирования прокатки сортовых профилей сложной формы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грудев А.П. Теория прокатки. – М.: Металлургия, 1988. – 240 с.

2. Вусатовский З. Основы прокатки. – М.: Металлургия, 1967. – 584 с.
3. Минкин А.В. Расчет систем вытяжных калибров. – М.: Металлургия, 1989. – 208 с.
4. Берковский В.С. Теоретические основы и расчет калибровки валков сортовых прокатных станов: Учеб.-метод. пособие. – М.: МИСиС, 2003. – 110 с.
5. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инатович Ю.В. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1987. – 386 с.
6. Kobayashi I.S., Oh S.I., Altan T. Metalforming and the Finite-Element Method. Oxford University Press, 1989. – 378 p.
7. Рычков С.С. // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2011. Вып. 37. С. 146 – 151.
8. Кинзин Д.И., Рычков С.С. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 45 – 48.

© 2012 г. Д.И. Кинзин, А.Б. Моллер,
С.С. Рычков
Поступила 14 мая 2012 г.

УДК 621.791:624

**Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев, З.В. Голдун,
Р.Е. Крюков, В.М. Шурупов**

Сибирский государственный индустриальный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ*

При изготовлении сварных конструкций основной задачей является получение сварных соединений, прочность которых равна прочности основного металла, а сами эти соединения обладают требуемыми механи-

ческими свойствами. Механические свойства сварных швов обеспечиваются составом металла, газонасыщенностью, загрязненностью металла неметаллическими включениями. Образующийся при сварке под флюсом шлак должен выполнять не только защитные функции, но и способствовать получению металла шва с минимальным количеством неметаллических включений [1, 2].

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации госзаказа 7.5021.2011.

С точки зрения уменьшения образования в сварном шве неметаллических включений интересным является изучение влияния добавок углерода, так как образующиеся с участием углерода газообразные оксид СО и диоксид углерода CO_2 легко удалимы и не загрязняют металл шва неметаллическими включениями. С другой стороны, использование углерода в качестве раскислителя приводит к науглероживанию металла, что, в свою очередь, ухудшает механические свойства и структуру металла сварных швов.

Для исследования этого вопроса использовали окислительный флюс АН-348А [1] и углеродсодержащую добавку, состоящую из отходов металлургического производства и жидкого стекла. Состав отходов металлургического производства: 21,0 – 46,0 % Al_2O_3 ; 18,0 – 27,0 % F^+ ; 8,0 – 15,0 % Na_2O ; 0,4 – 6,0 % K_2O ; 0,7 – 2,3 % CaO ; 0,5 – 2,5 % SiO_2 ; 2,1 – 3,3 % Fe_2O_3 ; 12,5 – 30,2 % $\text{C}_{\text{общ}}$; 0,1 – 0,9 % MnO ; 0,09 – 0,19 % S ; 0,10 – 0,18 % P (по массе).

Добавку к флюсу готовили следующим образом: в отходы металлургического производства добавляли 10 – 12 % жидкого стекла (из расчета сухого остатка), тщательно перемешивали, сушили в печи при температуре 300 °С, после чего охлаждали и дробили до фракции 0,2 – 2,0 мм. Затем добавку в количестве 1, 3, 4, 5, 7 и 10 % смешивали с флюсом в смесителе. Сварку двусторонних стыковых швов без разделки кромок на образцах из стали 09Г2С (ГОСТ 19282 – 73) размером 200×500 мм толщиной 16 мм проводили сварочным трактором АСАW-1250 с использованием сварочной проволоки марки Св-08ГА (ГОСТ 2246 – 70) при следующем режиме: сварочный ток 650 А, напряжение на дуге 36 В, скорость сварки 20,5 м/ч, диам. проволоки 5 мм. Для сравнения проводили сварку под флюсом АН-348А без добавок. Отбор образцов для металлографического анализа, а также для определения механических свойств проводили согласно требованиям ГОСТ 6996 – 66.

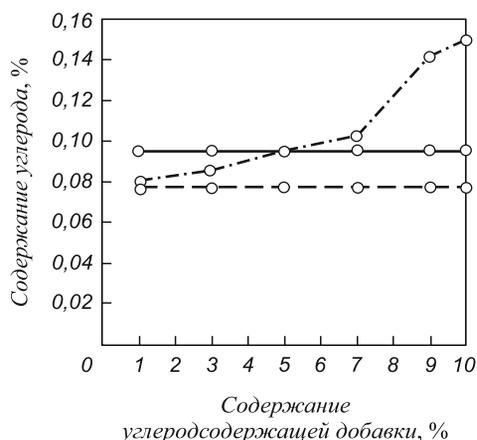


Рис. 1. Влияние количества добавки на содержание углерода в металле сварного шва (---), в основном металле (—) и в контрольном образце (- · - ·) при сварке под флюсом без присадки углеродсодержащей добавки

Определение содержаний углерода, серы и фосфора в металле сварных швов проводили химическими методами по ГОСТ 12344 – 2003, ГОСТ 12345 – 2001, ГОСТ 12347 – 77 соответственно; определение содержаний марганца, кремния, хрома, никеля, меди в металле и оксидов кальция, кремния, магния, алюминия, марганца, железа, калия, натрия, фтора во флюсах с добавками и в полученных после сварки шлаках проводили на рентгенофлуоресцентном спектрометре XRF -1800 фирмы SHIMADZU.

Анализ содержания углерода в образцах показал, что применение флюса с добавками (при внесении добавки в количестве 1 – 6 %) приводит к небольшому (с 0,08 до 0,10 %) повышению содержания углерода в металле сварного шва (рис. 1). Углеродсодержащая добавка в количестве 1 – 6 % обеспечивает концентрацию углерода в металле шва, соответствующую концентрации углерода в исходном металле. При дальнейшем увеличении (до 10 %) количества добавки во флюс содержание углерода в металле шва повышается до 0,16 %. При сварке под флюсом АН-348А без добавки содержание углерода в металле сварного шва меньше, чем в основном металле, вследствие применения сварочной проволоки с более низким содержанием углерода. Таким образом, с точки зрения изменения содержания углерода в металле сварного шва оптимальной является присадка добавки в количестве до 6 %.

Содержания серы и фосфора в металле шва, полученном при сварке под флюсом с добавками и без добавок, не изменились и находились в пределах 0,017 – 0,020 % и 0,024 – 0,028 % соответственно. Применение флюсов с добавками не повлияло на перераспределения серы и фосфора между металлом и шлаком.

Установлено, что углеродсодержащая добавка приводит к незначительному повышению содержаний кремния и марганца в металле сварного шва (рис. 2). По-видимому, углерод не только удаляет часть растворенного кислорода из ванны, но и вступает в восстановительный процесс с оксидами кремния и марганца.

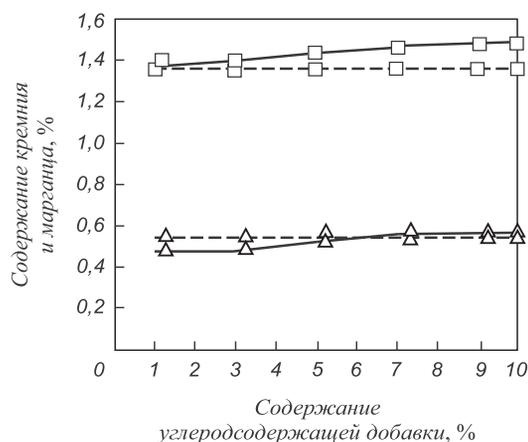


Рис. 2. Влияние количества добавки на содержание кремния (Δ) и марганца (□) в металле сварного шва: — — основной металл; - - - - контрольный образец

Косвенными характеристиками влияния концентрации углерода на качество сварного соединения являются твердости металла шва и границы сплавления. Из вырезанных образцов готовили макрошлифы и измеряли твердость в основном металле, на границе сплавления и в металле шва (рис. 3). Твердость основного металла оставалась неизменной во всех экспериментах и изменялась в пределах 108 – 117 НВ. Данные измерений твердости на участке сплавления и в металле шва приведены в табл. 1. Видно, что введение до 10 % добавки во флюс не приводит к существенному увеличению твердости. При этом твердость металла шва значительно ниже максимально допустимых значений (280 НВ) [2].

Предел текучести (σ_T), предел прочности (σ_B), относительное удлинение (ψ), ударная вязкость КСУ при -40°C приведены в табл. 2.

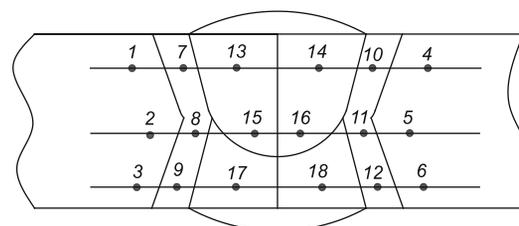


Рис. 3. Схема измерения твердости металла сварного соединения:
1 – 6 – основной металл; 7 – 12 – граница сплавления;
13 – 18 – металл шва

Т а б л и ц а 1

Изменение твердости металла шва при сварке под флюсом АН-348А с углеродсодержащей добавкой

Количество добавки, %	Твердость НВ в точках											
	границы сплавления						металла шва					
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
–	131	135	130	134	131	135	139	147	143	145	140	142
1	138	135	140	147	142	148	148	162	154	155	160	159
3	148	138	147	145	150	146	150	149	159	150	148	155
4	139	150	148	152	147	146	147	149	150	149	153	147
5	140	142	150	148	144	145	157	159	156	150	153	150
7	143	148	153	150	149	140	161	169	163	164	159	169
10	141	149	146	147	150	152	164	169	170	172	168	167

Т а б л и ц а 2

Механические свойства металла сварных соединений при сварке под флюсом АН-348А с углеродсодержащей добавкой

Количество добавки, %	σ_B , МПа	σ_T , МПа	Ψ , %	КСУ, Дж/см ² , при -40°C
–	535 530 – 543	360 355 – 368	25 24 – 26	70 61 – 73
1	545 536 – 552	370 361 – 382	23 21 – 24	89 79 – 95
3	558 548 – 569	382 374 – 390	25 23 – 26	108 99 – 106
4	560 549 – 570	405 395 – 412	25 23 – 26	123 118 – 129
5	565 550 – 575	420 416 – 428	25 24 – 26	126 118 – 132
7	568 560 – 578	415 403 – 421	24 22 – 25	118 111 – 123
10	570 559 – 578	418 406 – 427	23 21 – 24	119 114 – 127
Требования ГОСТ 31385 – 2008 и ПБ-03-605 – 03				
	≥490	≥350	≥21	≥35

П р и м е ч а н и е. В числителе приведены средние значения показателей, полученные по результатам испытаний шести образцов, в знаменателе – минимальные и максимальные значения.

Определение механических свойств (в том числе ударной вязкости при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) показало, что уровень свойств значительно превышает требуемые ГОСТ 31385 – 2008 и ПБ-03-605 – 03 (правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов). Вероятнее всего, это связано со снижением содержания кислорода в металле сварного шва и изменением морфологии оксидных включений. Проведенное определение содержания кислорода по ГОСТ 17745 – 90 методом восстановительного плавления на газоанализаторе фирмы «LECO» TC-600 подтвердило снижение количества кислорода при использовании добавок. Так, массовая доля кислорода в образцах, полученных при сварке под флюсом с 10 % углеродсодержащей добавки, уменьшилась по сравнению с контрольной пробой (сварка под флюсом АН-348А без добавок) в среднем с 534,7 до 317,0 ppm. Фракционный газовый анализ показал, что массовая доля кислорода в силикатах изменилась с 432 до 181 ppm; в алюминатах с 78 до 88 ppm; в алюмосиликатах кальция, силикатах кальция и магниевых шпинелях – с 6,5 до 5,2 ppm. Подтверждением изменения общего уровня содержания кислорода в металле шва является также изменение химического состава флюсов и полученных после сварки шлаков. Концентрации Fe_2O_3 , MnO в шлаке меньше, чем во флюсе, что, по-видимому, связано с перераспределением кислорода между металлом и шлаком и раскислением металла и шлака углеродом добавки во флюсе (рис. 4).

Выводы. Показана принципиальная возможность введения в сварочные флюсы добавок углеродсодержащих компонентов, позволяющая уменьшить общее содержание кислорода в металле шва, и следовательно, снизить уровень загрязненности металла неметаллическими включениями. При этом, как следствие, значительно повышаются механические свойства и особенно ударная вязкость металла сварных соединений. Установлено, что при использовании исследуемой добавки во флюс АН-348А в количестве до 6 % концентрация углерода в металле сварных швов не увеличивается,

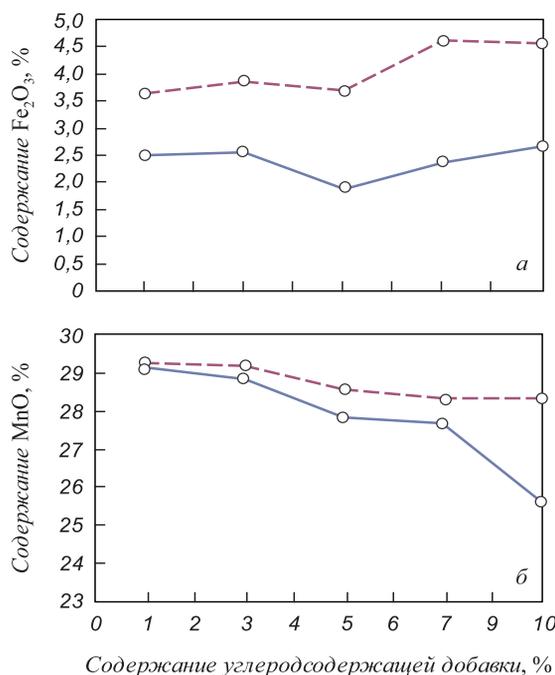


Рис. 4. Изменение концентрации Fe_2O_3 (а) и MnO (б) во флюсе (—) и в шлаке (---) после сварки

твердость не возрастает. Применение таких добавок может быть целесообразно для раскисления металла шва (по сравнению с существующими кремнемарганцевосстановительными процессами).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие в 2 т. Т. 1. Защитные газы и сварочные флюсы / Б.П. Конищев, С.А. Курланов, Н.Н. Потапов и др. Под общ. ред. Н.Н. Потапова. – М.: Машиностроение, 1989. – 544 с.
2. Подгаецкий В.В., Люборец И.И. Сварочные флюсы. – Киев: Техника, 1984. – 166 с.

© 2012 г. *Н.А. Козырев, В.Ф. Изушев, З.В. Голдун, Р.Е. Крюков, В.М. Шурупов*
Поступила 19 мая 2012 г.

УДК 669.184.124

Е.В. Протопопов¹, Р.Ф. Калимуллин¹, А.Г. Чернятевич², П.С. Харлашин³, Н.А. Чернышева¹

¹ Сибирский государственный индустриальный университет

² Национальная металлургическая академия Украины

³ Приазовский государственный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУИ ПРИ РАЗДУВКЕ ШЛАКА В КОНВЕРТЕРЕ

Технология нанесения защитного шлакового гарнисажа на футеровку кислородного конвертера основана на том, что к специально подготовленному шлаку под-

водится и ему передается значительная часть энергии внедряющихся в шлаковый расплав газовых азотных струй. Суммарная мощность струй, истекающих из