

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА УГЛЕГРАФИТОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ПРОЦЕССЫ ПРИ УПРОЧНЕНИИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДУГОВЫМ РАЗРЯДОМ

В.И. Алимов, В.Н. Крымов (ДонНТУ, г. Донецк)

Изучено влияние физических свойств углеграфитовых электродов на процессы при обработке стали дуговым разрядом обратной полярности. Показано влияние теплопроводности, пористости и электрического сопротивления материала электродов на содержание углерода в упрочненном слое

Упрочнение металлических изделий с использованием дугового разряда привлекает внимание своей простотой и низкой стоимостью оборудования [1-3]. Особенный интерес вызывает возможность локального химико-термического упрочнения, которое наиболее легко реализуется при использовании электродов из углеграфитовых материалов [4-6].

Однако в литературе практически не содержится информация о влиянии характеристик углеграфитовых материалов на процессы, происходящие при обработке, и свойства упрочненной поверхности. В близких по своей природе процессах, например, сварке, рассматриваются лишь свойства, влияющие на стабильность процесса. К ним относят, прежде всего, электрическое сопротивление материала электрода. Чем оно меньше, тем большие токи можно использовать при сварке. В литературе, относящейся к производству электродов для дуговых сталеплавильных печей, этому вопросу уделено гораздо большее внимание [7]. Однако условия работы электродов при поверхностной химико-термической обработке заметно отличаются, что не позволяет использовать эти данные. В частности, при дугоразрядном упрочнении плотность тока заметно выше, чем при сварке или выплавке стали.

Целью данной работы являлось изучение влияния характеристик углеграфитовых электродов на процессы упрочнения дуговым разрядом стальных изделий.

Материалом для исследования служили графитированные электроды для сталеплавильных печей марок ЭГСП, ЭП, ЭГ, сварочные электроды диам. 6 мм, графитированный марки ВДК и угольный ВДКу. Также использовали различные по свойствам конструкционные материалы - графитопласт марки АТМ-1Г с высокой теплопроводностью и материал из угле-

волокна марки УВК с высоким электросопротивлением. Из этих материалов вырезали образцы диам. 6 мм. Пикнометрическим и весовым методами определяли плотность, а с помощью двойного моста измеряли электрическое сопротивление. Теплопроводность определяли по методике [8] по разности температур при нагреве части образца электрическим током. Открытую пористость оценивали микроструктурным анализом на шлифах. Общую пористость рассчитывали как относительную разницу между истинной и кажущейся плотностью. Степень графитации углеграфитовых материалов контролировали в соответствии с методикой [9] по отношению интегральных интенсивностей рентгеновских линий (112)/(110).

Так как основным фактором дугоразрядного воздействия, влияющим на структуру и свойства, можно считать степень науглероживания поверхности стальных изделий, то химическим анализом определяли содержание углерода в зоне оплавления образцов из стали Ст 3.

Как следует из табл. 1, графит электродов для сталеплавильных печей и стержневого электрода ВДК диам. 6 мм имеют высокую степень графитации и типичные для искусственного графита свойства. В структуре графитированных электродов (кроме ВДК) содержатся крупные поры с характерными участками течения связующего при коксовании.

Таблица 1 – Свойства углеграфитовых материалов

Материал	Сопротивление, Ом·мм ² /м	Плотность (истинная), г/см ³	Плотность (кажущаяся), г/см ³	Пористость расчетная, %	Теплопроводность, Вт/м·К	Степень графитации, $\frac{I(112)}{I(110)}$	Содержание углерода в ЗО* %
ВДК	12,75	2,238	1,6787	25	285	1,89	3,412
ЭГСП	13,53	2,24	1,5877	29	140-	1,92	3,404
ЭП	15,49	1,915	1,6148	16	---	---	2,014
АТМ-1Г	19,03	2,04	1,6885	17	520	1,71	2,506
ЭГ	20,86	---	1,6615	---	---	---	2,570
ВДКу	36,7	2,1	1,6321	22	90	0,53	2,206
УВК	119,31	1,477	1,1986	19	43	---	2,840

*) ЗО – зона оплавления

С увеличением электрического сопротивления происходит более интенсивный разогрев электрода при горении дуги. Так электрод из композитного материала УВК при силе тока 150 А разогревается до 800-900 °С на расстоянии 20-25 мм от анодного пятна за 3-4 с, в то время как электрод ВДК – за 8-9 с. Следует ожидать, что увеличение температуры нагрева способствовало бы более интенсивному разрушению электрода. При этом

можно предположить, что чем больше углерода испарится в анодном пятне, тем большее содержание углерода будет получено в зоне оплавления образцов. Определение торцевой потери массы электродов при горении дуги обратной полярности показало, что между электрическим сопротивлением материала электродов и потерей массы в режиме дуги обратной полярности нет линейной зависимости (рис. 1).

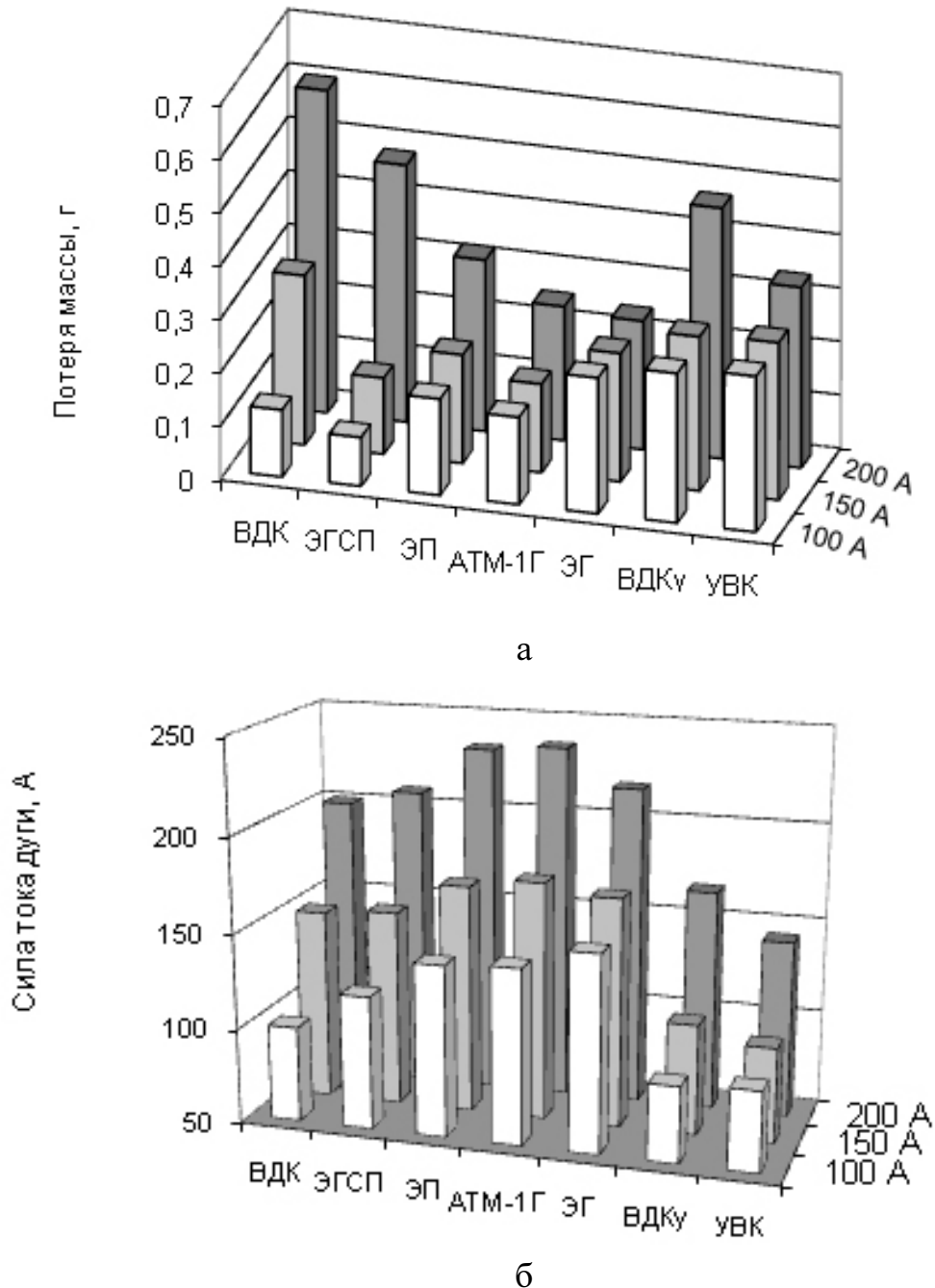


Рисунок 1 – Влияние силы тока дуги на торцевую потерю массы электродов (а) и фактическую силу тока в цепи дуги (б); марки электродов по оси X расположены в порядке возрастания электросопротивления

Длительность горения дуги ограничивали 10 с, что бы избежать заметной потери массы за счет окисления боковой поверхности электродов. Значение силы тока устанавливали источником питания по электроду ВДК. Минимуму торцевой потери массы электродов при средних значениях сопротивления соответствует максимальная сила тока в цепи дуги. Снижение силы тока дуги при минимальных значениях сопротивления электродов можно объяснить повышением сопротивления электрической дуги из-за интенсивного образования анодного потока угольного пара [10]. Однако это не объясняет минимума потери массы на графике рис. 1 а. Таким образом, очевидно, что на потерю массы электродов в дуговом режиме оказывают влияние и другие факторы.

Наибольшее влияние на насыщение углеродом оказывают пористость, сопротивление и теплопроводность материала электродов. Из рис. 2 следует, что между пористостью и содержанием углерода существует определенная связь. Это может быть связано с увеличением фактической площади анодного пятна с ростом пористости и, соответственно с увеличением площади испарения. По-видимому, решающее значение играет открытая пористость в некотором приповерхностном слое, температура в котором мгновенно выравнивается и достигает температуры поверхности анодного пятна.

Электрическое сопротивление и теплопроводность оказывают сходное влияние на содержание углерода в зоне оплавления. При увеличении сопротивления происходит уменьшение силы тока и, соответственно, снижается испарение углерода из анодного пятна. С увеличением теплопроводности усиливается теплоотвод от анодного пятна, температура его снижается и, соответственно, уменьшается интенсивность испарения углерода (электрод АТМ-1Г). Этим и объясняется минимум потери массы с торца электродов (рис. 1 а). Дальнейшее возрастание сопротивления сопровождается снижением силы тока в цепи дуги (рис. 1 б). Однако ожидаемого уменьшения потери массы (рис. 1 а) не происходит из-за резкого снижения теплопроводности (см. табл. 1) и, соответственно, увеличения температуры электрода. Взаимное влияние электросопротивления, теплопроводности и пористости на содержание углерода в зоне оплавления проявляется в сложном характере зависимостей. Так, максимальные значения на графике зависимости содержания углерода от электросопротивления электродов соответствует наибольшей пористости образцов.

Таким образом, основными свойствами материала углеграфитовых электродов, оказывающими влияние на процессы при дуговым разрядном упрочнении стальных изделий и на содержание углерода в зоне оплавления являются электрическое сопротивление, теплопроводность и пористость. Повышение электрического сопротивления и теплопроводности способст-

вуют снижению содержания углерода в зоне оплавления при обработке дугой обратной полярности. Увеличение пористости углеграфитовых электродов увеличивает количество испарившегося материала и, соответственно, повышает содержание углерода в обрабатываемой поверхности.

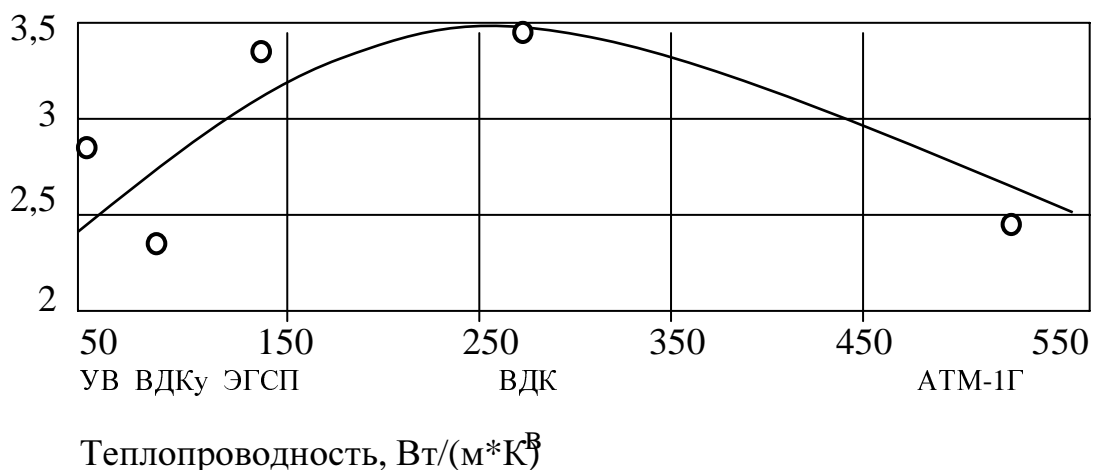
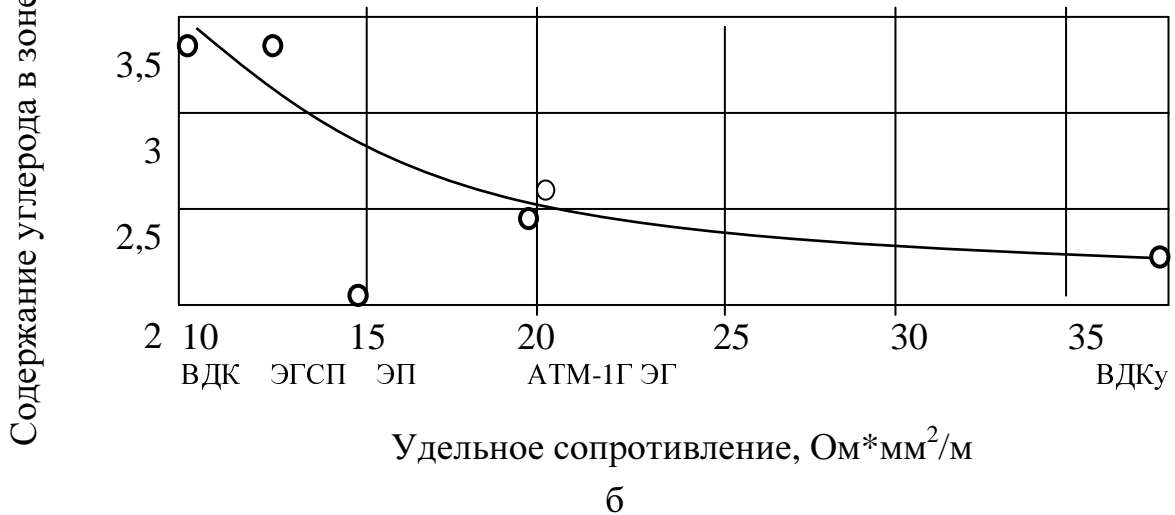


Рисунок 2 – Влияние пористости (а), сопротивления (б) и теплопроводности (в) на содержание углерода в поверхностном слое (исходное содержание – 0,12 %); дуга обратной полярности, 200 А

Литература

1. Сафонов Е. Н., Журавлев В. И. Поверхностное упрочнение железоуглеродистых сплавов дуговой закалкой // Сварочное производство.- 1997. - №10. - С.30-32.
2. Стацуря В.В., Михеев А.Е., Гирн А.В., Ивасев С.С. Упрочнение стальных поверхностей электрической дугой // ФХОМ. – 2003. - №2. – С. 88-90.
3. Райнке Ф.Х. Структура и свойства чугунов после отбеливания поверхностным переплавом // МиТОМ. - №5. – 1989. – С. 43-50.
4. Кулагин И. Д., Боржов А. П., Краснов Ю. И. Дуговая цементация рабочих поверхностей стальных деталей // ФХОМ.-1986, №6.-С.84-88.
5. Алимов В.И., Крымов В.Н. Химико-термическое упрочнение сплавов с использованием плазмы дугового разряда // Сварочное производство. – 2005. – № 5. – С. 51 – 54.
6. Патент України № 47034. МПК С23С8/20. Способ насыщения углеродом металлических виробів / В.І. Алімов, М.Т. Єгоров, В.М. Кримов. Опубл. 15.11.2004. Бюл. № 11.
7. Комплексная оценка качества графитированных электродов для дуговых сталеплавильных печей / Апалькова Г.Д., Веснин А.Я., Иванова Т.Н, Шумихина и др.// Углеграфитовые материалы и изделия. – М.: НИИ графит, 1985. – С 4-10.
8. Физические свойства металлов и сплавов / Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Линецкий // М.: Metallurgia, 1980. – 320 с.
9. Фиалков А.С. Формирование структуры и свойств углеграфитовых материалов. – М.: Metallurgia, 1965. – 288 с.
10. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. – М.: Изд.ин. лит.: 1961. – 310 с.

© Алимов В.И., Крымов В.Н. 2007