

УДК 621.791.01:548.5

## НОВЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РЕМОНТНОЙ НАПЛАВКИ ПОВРЕЖДЕННОЙ ОБЛИЦОВКИ КАМЕР РАБОЧЕГО КОЛЕСА ГИДРОАГРЕГАТОВ ГЭС

К.А. ЮЩЕНКО, Ю.Н. КАХОВСКИЙ, А.В. БУЛАТ, В.И. САМОЙЛЕНКО, Н.Ю. КАХОВСКИЙ  
ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Разработаны новые электроды марки АНВ-70БГ. Изучена взаимосвязь структурной и химической неоднородности в переходной зоне между низкоуглеродистой сталью и высоколегированным наплавленным металлом в зависимости от типа последнего и значения сварочного тока. Библиогр. 4, табл. 4, рис. 3.

*Ключевые слова:* ручная дуговая наплавка покрытыми электродами, низкоуглеродистая сталь, высоколегированный наплавленный металл, переходная зона, структурная и химическая неоднородность, трещины, коррозия

В химическом и энергетическом машиностроении широко применяют сварные соединения разнородных сталей. Их работоспособность в значительной степени определяется состоянием металла переходной зоны (его структурной и химической неоднородностью), которая при эксплуатации конструкций в результате воздействия повышенных температур и давления, циклических механических нагрузок, термоциклирования и агрессивных сред претерпевает деградацию в зоне сплавления с основным металлом.

На действующих предприятиях нефтехимической промышленности и энергетики ремонтные работы проводят с использованием различных видов дуговой сварки. Так, в гидроэнергетике для обеспечения мощности агрегатов проводят ремонт повреждений облицовки из нержавеющей стали камеры рабочего колеса (КРК) из стали СтЗсп путем восстановления ее проектных размеров и последующей наплавки на рабочую поверхность высоколегированного кавитационно- и коррозионностойкого слоя металла. Чаще всего наплавку облицовки выполняют электродами ЦЛ-11 типа Э-08Х20Н9Г2Б.

В ходе исследований фрагментов металла облицовки КРК одного из гидроагрегатов нами установлено, что разрушение коррозионностойкого слоя, наплавленного электродами ЦЛ-11, происходит путем образования в нем трещин, отслоений, а также коррозии (Рис. 1). Химический состав основного и наплавленного металла приведен в табл. 1.

Основные закономерности, определяющие неоднородность химического состава и структуры в зоне сплавления разнородных металлов, связывают с появлением участков с условным названием «кристаллизационные прослойки» [1–4]. Настоящая работа посвящена исследованию возможностей минимизации структурной неоднородности в зоне сплавления за счет вариации состава наплавленного металла и значения сварочного тока.

Однослойные наплавки выполняли опытными электродами типа Э-10Х28Н14Г2 диаметром 3 мм на пластины из низкоуглеродистой стали (СтЗсп) при изменении  $I_{св}$  в пределах 80...140 А. Металлографические исследования проводили на шлифах с оценкой микротвердости структурных составляющих. Количество магнитной фазы

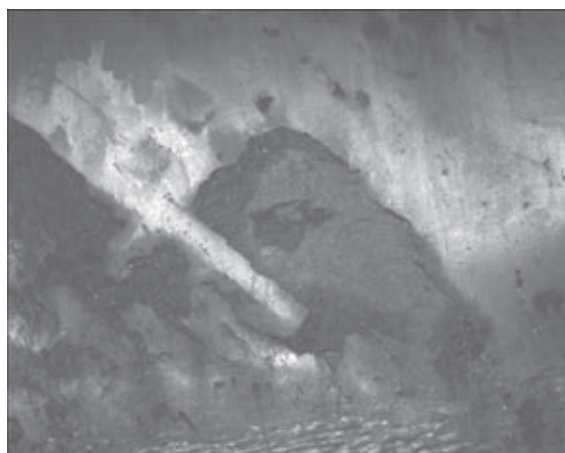


Рис. 1. Вид повреждений металла облицовки КРК из стали СтЗсп

Таблица 1. Химический состав основного и наплавленного металла, мас. %

Материал	Cr	Ni	Mn	Si	C	Nb
Основной металл СтЗсп	0,05	0,04	0,50	0,179	0,16	-
Наплавленный металл электродом типа Э-08Х20Н9Г2Б	19,5	9,2	1,0	0,95	0,07	1,38

© К.А. Ющенко, Ю.Н. Каховский, А.В. Булат, В.И. Самойленко, Н.Ю. Каховский, 2015

Таблица 2. Влияние сварочного тока на структуру и микротвердость наплавленного металла и зоны сплавления, выполненного электродами Э-10Х28Н14Г2 на стали СтЗсп

$I_{св}, А$	Микротвердость, МПа			Микроструктура наплавки
	зона сплавления	середина наплавки	верх наплавки	
80...90	1595...2580	1688...1760	1875...1940	Аустенит + феррит
110...130	1942...3840*	1900...2120	1900...2200	Аустенит (в зоне сплавления) + мартенсит

\* Мартенсит переходной зоны.

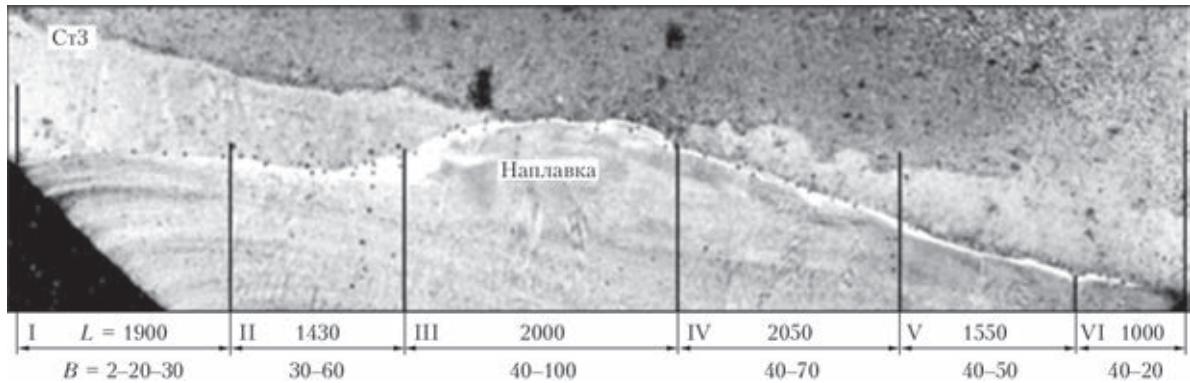


Рис. 2. Панорама ( $\times 50$ ) переходной зоны наплавки ( $L$  — длина, мм;  $B$  — ширина, мм), выполненных опытными электродами типа Э-10Х28Н14Г2 на стали СтЗсп при  $I_{св} = 80...90 А$

в высоколегированном металле определяли с помощью ферритометра «FERRITGEHALT-MESSER 1.053». Микроструктуру наплавленного металла изучали на микроскопе «Neophot-32».

Для оценки структурной неоднородности в переходной зоне определяли микротвердость (ГОСТ 9450–76 и 10717–75) при нагрузке 100 г. Данные о химическом составе металла переходной зоны получали с помощью энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора микроскопа «Самскан». В ходе металлографических исследований установлено, что в металле шва, наплавленного опытными электродами, и зоне сплавления трещины отсутствуют.

Изменения микротвердости наплавленного металла в зависимости от сварочного тока приведены в табл. 2. Переходная зона включает границу раздела между основным и высоколегированным металлом переменного состава (рис. 2). Профиль переходной зоны выявляли комбинированным химическим и электролитическим травлением основного низкоуглеродистого металла и высоколегированной наплавки. Установлено, что ее ширина колеблется в пределах 2...100 мкм.

Как видно из табл. 2, при  $I_{св} = 80...90 А$  микротвердость всех участков переходной зоны составила 1595...2580 МПа, кроме одного (III участка), где она достигла 3050 МПа. В связи с этим на участке повышенной твердости (рис. 2) с помощью энергодисперсионного анализатора определили содержание легирующих элементов (табл. 3, 4). Концентрация никеля вблизи линии сплавления составила 7,85, а хрома — 15,16 мас. % соответственно. При наплавке на токе  $I_{св}$  примерно 80...90 А микроструктура переходной зоны на-

плавленного металла представляет собой аустенит + феррит  $\sim 3...5 \%$ . При этом содержание хрома вблизи линии сплавления составило 15,2...14,9 мас. %, что обеспечивает достаточную коррозионную стойкость металла.

При увеличении  $I_{св}$  до 100...130 А в переходной зоне со стороны высоколегированного металла наблюдается повышение микротвердости до 1942...3840 МПа. Содержание легирующих элементов в металле переходной зоны следующее: до 12,44 Cr, 6,86 Ni, 1,51 Mn мас. %, т.е. наряду с аустенитом в металле переходной зоны образовывалась фаза с мартенситной составляющей.

Таким образом, повышение сварочного тока выше 90 А усиливает структурную и химическую неоднородность металла переходной зоны, что может вызвать снижение коррозионной стойкости,

Таблица 3. Данные рентгеноспектрального анализа содержания легирующих элементов (мас. %) в металле переходной зоны (III участок) между наплавленным электродами типа Э-10Х28Н14Г2 металлом и сталью СтЗсп при  $I_{св} = 80...90 А$

№ п/п	Si	Cr	Mn	Fe	Ni
1	0,16	0,67	0,36	98,81	-
2	0,5	15,16	1,47	75,01	7,85
3	0,76	18,75	2,46	67,09	10,93
4	0,98	26,67	2,75	53,51	16,09

Таблица 4. Данные рентгеноспектрального анализа содержания легирующих элементов (мас. %) в металле переходной зоны между наплавленным электродами типа Э-10Х28Н14Г2 металлом и сталью СтЗсп при  $I_{св} = 130 А$

№ п/п	Si	Cr	Mn	Fe	Ni
1	0,15	-	0,61	99,24	-
2	0,45	12,44	1,51	78,74	6,86
3	0,64	19,69	1,71	66,14	11,81
4	0,44	24,09	2,76	60,15	11,19

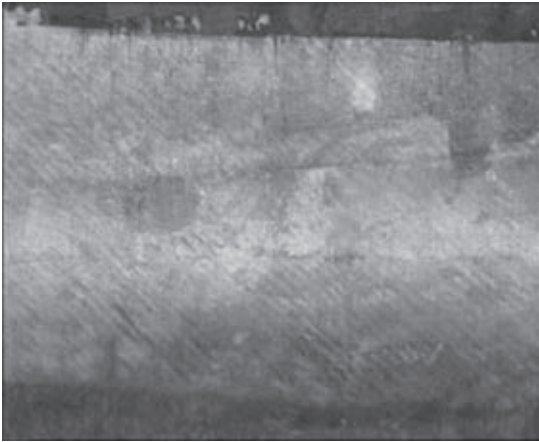


Рис. 3. Внешний вид участка облицовки после ремонтной наплавки электродами АНВ-70БГ и шлифовки наплавленного металла

а в дальнейшем инициировать разрушение металла при эксплуатации.

В результате проведенных исследований при осуществлении ремонтной наплавки коррозионно- и кавитационностойких слоев металла на рабочую поверхность облицовки КРК гидроагрегатов рекомендованы оптимальные режимы и технологии сварки новыми специальными электродами типа Э-10Х28Н14Г2, обеспечивающими более высокое качество ремонта и длительную работоспособность, чем электроды ЦЛ-11.

Испытания образцов наплавленного металла электродами АНВ-70БГ (рис. 3) и ЦЛ-11, проведенные на испытательных стендах лаборатории гидрогазовых систем Национального авиационного университета, показали, что кавитационная износостойкость наплавленного металла электродами АНВ-70БГ в 2 раза выше, чем электродами ЦЛ-11, а гидроабразивная износостойкость — на 10 %.

На электроды АНВ-70БГ зарегистрировано ТУ У 28.7-05416923-099, а технология их производ-

ства освоена на ОЗСМ ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. Первые промышленные партии электродов использованы при ремонте облицовки КРК гидроагрегатов на Кременчугской и Каховской ГЭС.

### Выводы

1. Разрушение металла, наплавленного электродами ЦЛ-11 типа Э-08Х20Н9Г2Б на рабочую поверхность облицовки КРК гидроагрегатов из стали СтЗсп, обусловлено образованием в переходной зоне мартенситной фазы, инициирующей коррозию, растрескивание и отслоение высоколегированного слоя.

2. Риск образования мартенсита в переходной зоне и последующее разрушение наплавленного слоя можно избежать при использовании электродов типа Э-10Х28Н14Г2, при ограничении диаметра электродов и величины сварочного тока.

3. Для ремонтной наплавки коррозионно- и кавитационностойкого слоя металла на рабочие поверхности облицовки из стали СтЗсп КРК гидроагрегатов разработаны новые сварочные электроды АНВ-70БГ типа Э-10Х28Н14Г2, обеспечивающие высокую коррозионную и кавитационную стойкость наплавленного металла.

1. *Готальский Ю.Н.* Сварка разнородных сталей. – Киев: Техніка, 1981. – 184 с.
2. *Земзин В.Н.* Сварные соединения разнородных сталей. – М.: Машиностроение, 1966. – 232 с.
3. *Фролов К.В., Патон Б.Е., Белянин П.Н.* Машиностроение: Энциклопедия: Т. III–IV. – М.: Машиностроение, 2006. – 768 с.
4. *Павлов И.В., Антонец Д.П., Готальский Ю.Н.* К вопросу о механизме образования переходного слоя в зоне сплавления разнородных сталей // Автомат. сварка. – 1980. – № 7. – С. 5–7.

Поступила в редакцию 25.03.2015

## ■ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА ПЛАВЯЩИМСЯ МУНДШТУКОМ

Электродуговая сварка плавящимся мундштуком – новый технологический процесс, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона для соединения стальных деталей толщиной 16–250 мм. Являясь разновидностью вертикальной электродуговой сварки с принудительным формированием, он отличается использованием специального электрода с изолирующим покрытием, размещаемого в зазоре между свариваемыми кромками и выполняющего роль плавящегося мундштука, через который в процессе сварки осуществляется подача сварочной проволоки (от одной до четырех). Сварка осуществляется в узкий зазор (8–20 мм) без разделки кромок, что обеспечивает высокую производительность процесса (коэффициент наплавки достигает 22 – 24 г/А·ч) при умеренном удельном тепловложении (25 – 50 кДж/см<sup>2</sup>).

