



ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ ФЛЮСОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Н.А. Макаренко, А.Ф. Власов, Д.А. Волков, А.М. Куций

Донбас. гос. машиностроительная академия.

84313, г. Краматорск, Донецк. обл., ул. Шкадинова, 72. E-mail: sp@dgma.donetsk.ua

Показано, что экзотермические электропроводные флюсы обеспечивают выделение дополнительного тепла в стартовый период электрошлаковых процессов и способствуют ускоренному наведению шлаковой ванны необходимого объема на «твердом» старте как по монофилярной, так и бифилярной схемам ведения процесса взамен «жидкого» старта. Разработаны новые способы расплавления рабочего флюса в электрошлаковых процессах, позволяющие повысить выход годного металла до 3 %, снизить расход электроэнергии и рабочего флюса на 10 и 20 % соответственно. Приведена технология разработки экзотермического электропроводного флюса в твердом состоянии с использованием метода планирования эксперимента. Показано, что экзотермический флюс существенно снижает время наведения шлаковой ванны необходимого объема. Определена принципиальная возможность разработки состава экзотермического флюса, обеспечивающего получение химического состава восстановленного металла эквивалентного марочному составу сталей 9ХФ, 9Х2М и 60Х2СМФ. Показано, что в качестве компонента экзотермического флюса целесообразно использование окалины, являющейся отходом прокатного, кузнечно-прессового и ферросплавного производства с размером частиц 0,1...2,5 и 0,1...6,0 мм соответственно. Библиогр. 15, табл. 6, рис. 6.

Ключевые слова: электрошлаковые процессы; экзотермический флюс; шлаковая ванна; штамп; моно- и бифилярная схемы; темплет

Электрошлаковые процессы осуществляются на «твердом» или «жидком» старте [1]. При «твердом» старте расплавление рабочего флюса, наведение шлаковой ванны необходимого объема осуществляется в дуговом режиме. Способ характеризуется нестабильностью (частыми короткими замыканиями), неравномерным и длительным расплавлением флюса (низкой производительностью). Электрошлаковая технология производства крупных заготовок осуществляется в печах бифилярного или трехфазного типа с использованием только «жидкого» старта путем сифонной заливки расплавленного за пределами печи шлака в нижнюю часть кармана при электрошлаковой сварке (ЭШС), кристаллизатора при электрошлаковом переплаве (ЭШП) или заливки в тигель при электрошлаковом кокильном литье (ЭКЛ). Однако трудоемкость выплавки заготовки с учетом времени расплавления флюса во флюсоплавильных печах значительно выше по сравнению с «твердым» стартом.

Недостатки вышеуказанных способов наведения шлаковой ванны необходимого объема могут быть устранены разработанными способами ЭШП [2, 3].

Целью настоящей работы является исследование и разработка составов экзотермических

флюсов применительно к электрошлаковым процессам, обеспечивающих соответствие при их расплавлении физико-химических свойств электрошлакового металла основному, электропроводность в твердом состоянии и возможность проведения процессов по моно-, бифилярной или трехфазной схемам применительно к сталям 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ.

В данной работе разработаны экзотермические флюсы, представляющие собой механическую смесь окалины, алюминиевого порошка, легирующих элементов в виде ферросплавов и стандартного флюса АНФ-6 или других, засыпаемых в нижнюю часть кристаллизатора и обеспечивающих электропроводность слоя в твердом состоянии. При этом исследовали влияние соотношения содержания во флюсе окалины и алюминиевого порошка, а также легирующих элементов С, Мп, Si, Cr, V, Мо, вводимых в состав флюса в виде графита, ферромарганца, ферросилиция, феррохрома, феррованадия и ферромолибдена, на химический состав металла донной части слитка.

С целью определения влияния гранулометрического состава ферросплавов на их растворимость в восстанавливаемом металле из окалины и на физико-химические свойства электрошлакового металла проводили дробление FeMn, FeSi,

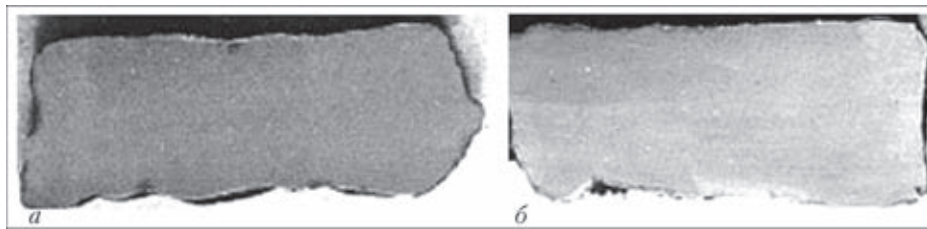


Рис. 1. Макроструктура продольных темплетов из слитков, выплавленных нерасходуемым электродом с применением ферросплавов различного гранулометрического состава с размером частиц, мм: а — 0,10...0,15; б — 4,0...6,0

FeCr, FeV, FeMo и просев их через соответствующие сита. Экспериментальные плавки выполняли с применением ферросплавов с размером частиц 0,10...0,16, 1,6...2,5 и 4,0...6,0 мм. В качестве компонента экзотермической смеси использовали окалину, являющуюся отходом кузнечно-прессового производства с размером частиц 0,10...2,5 мм.

Макроструктура исследованных слитков (рис. 1) показывает, что полученный металл является плотным, однородным и характеризуется отсутствием в нем пор, флокенов или других дефектов.

Расплавление экзотермического флюса производили в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе диаметром 170/160 мм нерасходуемым электродом на «твердом» старте. Применение расходуемого электрода нецелесообразно из-за трудно учитываемого его влияния на восстановленный металл при их перемешивании. Количество экзотермического флюса (12 кг) и флюса АНФ-6 (4 кг) обеспечило получение слитков диаметром 160 и высотой 50...60 мм.

В табл. 1 приведен химический состав металла исследуемых слитков, полученного при переплаве

экзотермического флюса расходуемым и нерасходуемым электродом. В качестве расходуемого электрода использовали заготовки из стали 9ХФ диаметром 90 мм. Также был опробован вариант расплавления экзотермического флюса, помещенного в тонкостенную трубу. Состав экзотермического флюса во всех случаях был одинаков. Из табл. 1 следует, что химический состав электрошлакового металла зависит как от гранулометрического состава ферросплавов, так и способа расплавления экзотермического флюса. При применении расходуемого электрода влияние гранулометрического состава ферросплавов на химический состав металла незначительно, поэтому дальнейшие исследования проводили при размере частиц ферросплавов 0,1...6,0 мм.

Серые отпечатки полученных слитков (рис. 2), а также данные химического анализа (табл. 1) показывают, что содержание серы в них незначительно при использовании нерасходуемого электрода. Изменение химического состава шлака за счет увеличения содержания в нем оксида алюминия не снижает десульферирующую способность фто-

Таблица 1. Химический состав электрошлакового металла в различных зонах слитка в зависимости от гранулометрического состава ферросплавов, мас. %

Место отбора проб	Размер частиц, мм	C	Si	Mn	Cr	V	S
Нерасходуемый электрод							
Торец донной части	0,10...0,16	0,80	0,07	0,06	1,19	0,30	0,015
	1,60...2,50	0,86	0,13	0,11	1,31	0,27	0,016
	4,0...6,0	0,89	0,16	0,16	1,89	0,35	0,012
Расходуемый электрод							
То же	0,10...0,16	0,80	0,21	0,22	1,59	0,18	0,040
30 мм от торца	0,10...0,16	0,84	0,17	0,18	1,65	0,15	0,038
Торец донной части	1,60...2,50	0,84	0,18	0,20	1,54	0,18	0,037
	1,60...2,50	0,85	0,14	0,17	1,69	0,18	0,044
То же	4,0...6,0	0,82	0,14	0,15	1,57	0,15	0,044
30 мм от торца	4,0...6,0	0,84	0,14	0,15	1,67	0,15	0,040
Труба							
Торец донной части	4,0...6,0	0,99	0,33	0,37	1,89	0,30	0,016
Расходуемый электрод	—	0,84	0,30	0,30	1,85	0,18	0,046

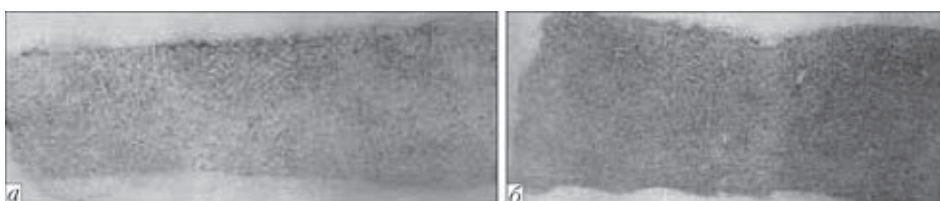


Рис. 2. Серные отпечатки продольных темплетов из слитков, выплавленных с применением ферросплавов с размером частиц 4...6 мм нерасходуемым (а) и расходуемым (б) электродом

Т а б л и ц а 2. Матрица математического планирования эксперимента при разработке состава экзотермического флюса применительно к ЭШП сталей 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ

Наименование компонента	Номер варианта											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Окалина	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+
Порошок Al	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+
Графит	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+
Ферромарганец	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-
Ферросилиций	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-
Феррохром	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-
Ферромolibден	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Феррованадий	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+

ридных флюсов. Основным поставщиком серы в электрошлаковый металл является расходуемый электрод.

При расплавлении экзотермического легированного флюса образуется шлак, содержащий 55...60 % CaF₂ и 40...45 % Al₂O₃ и соответствует рекомендациям по применению для ЭШП флюсов системы CaF₂-Al₂O₃.

С целью сокращения количества экспериментов разработку составов экзотермических флюсов применительно к ЭШП сталей 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ производили с применением метода математического планирования эксперимента, матрица которого приведена в табл. 2. В качестве примера приведена разработка состава экзотермического флюса применительно к ЭШП стали 60Х2СМФ.

Табл. 3-5 содержат исходные данные для проведения экспериментов. В табл. 3 приведено про-

центное содержание ферросплавов по массе от общего количества экзотермического флюса.

Все экспериментальные плавки выполняли в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе диаметром 170 мм на установке ЭШП-0,5. В качестве расходуемых электродов использовали литые заготовки диаметром 90 мм из стали 60Х2СМФ. С целью исключения побочного влияния на химический состав металла, получаемого при расплавлении экзотермического флюса, во всех экспериментальных плавках исключалось применение затравок. Для получения металла, образованного при расплавлении экзотермического флюса, в необходимом для исследований количестве, масса экзотермического флюса во всех плавках составляла 6, а рабочего флюса АНФ-6 — 4 кг.

Химический состав компонентов, входящих в состав экзотермического флюса, приведен в табл. 4, 5.

Т а б л и ц а 3. Исходные данные для математического планирования эксперимента по разработке экзотермического флюса применительно к ЭШП стали 60Х2СМФ

Изменяемые факторы	Уровень факторов			Интервалы варьирования	Кодовое обозначение переменных
	Основной	Верхний	Нижний		
Графит	0,45	0,60	0,30	0,15	X ₁
FeMn	1,20	1,40	1,00	0,20	X ₂
FeSi	4,80	5,20	4,40	0,40	X ₃
FeCr	2,20	2,50	1,90	0,50	X ₄
FeMo	0,40	0,60	0,20	0,20	X ₅
FeV	0,50	0,60	0,40	0,10	X ₆
Отношение окислы к алюминиевому порошку, α	3,90	4,00	3,80	0,10	X ₇



Т а б л и ц а 4. Химический состав компонентов экзотермических флюсов, мас. %

Наименование компонента	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Al	S	P	Cu
Графит	72,90	–	–	–	–	–	–	0,24	–	–
Ферромарганец	2,02	86,5	1,48	–	–	–	–	0,01	0,16	–
Ферросилиций	–	0,95	44,50	–	–	–	–	0,20	0,13	–
Феррохром	7,98	–	0,63	64,38	–	–	–	–	–	–
Ферромolibден	–	–	–	–	59,43	–	–	–	–	–
Феррованадий	–	–	–	–	–	47,30	–	–	–	–
Алюминиевый порошок	–	–	3,07	–	–	–	94,3	–	–	1,20
Электрод, сталь 9ХФ	0,84	0,30	0,30	1,85	–	0,18	–	0,046	0,04	–
Электрод, сталь 9Х2МФ	0,88	0,31	0,31	2,10	0,31	0,16	0,07	0,038	0,021	–
Электрод, сталь 60Х2СМФ	0,59	0,33	1,22	2,56	0,38	0,18	0,08	0,042	0,019	–

Т а б л и ц а 5. Химический состав окалины, использованной при разработке экзотермических флюсов, мас. %

Марка проковываемой стали	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{мет}	SiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	MoO ₃	V ₂ O ₅	NiO	S	P
9ХФ	61,83	32,25	0,31	0,70	0,27	1,37	–	–	0,40	0,014	0,025
9Х2МФ	59,19	36,71	0,23	2,22	0,12	0,70	0,13	0,35	0,21	0,010	0,012
60Х2СМФ	57,75	34,48	0,33	4,00	0,13	1,68	0,25	0,42	0,20	0,011	0,013

Физико-химические свойства окалины, как компонента экзотермической смеси в сварочных материалах приведены в работе [4].

Обработка экспериментальных данных (табл. 6) и расчет коэффициентов модели производили с использованием программной среды Statistica V6.0.437.0 (StatSoft. Inc. 2001) [5, 6].

После исключения незначимых коэффициентов, уравнения регрессии зависимости химиче-

ского состава металла донной части слитка от состава экзотермического флюса применительно к стали 60Х2СМФ принимают следующий вид:

$$[C] = -1,882 - 7,92X_1 + 1,997X_1X_5 + 1,881X_1X_7 + 0,109X_2X_3 - 0,318X_3X_5 + 40,58X_5X_6 - 2,661X_5X_7;$$

$$[S] = 0,0394 + 0,0198X_4 + 0,022X_1X_2 + 0,01X_1X_3 - 0,047X_1X_4 - 0,129X_1X_5 + 0,0178X_1X_7 - 0,047X_2X_6 - 0,015X_3X_6;$$

Т а б л и ц а 6. Химический состав металла донной части слитка, полученного при расплавлении экспериментальных составов экзотермического флюса применительно к ЭШП стали 60Х2СМФ, мас. %

Номер варианта	C	S	P	Si	Mn	Cr	V	Al	Mo
1	0,78	0,020	0,027	2,10	0,58	2,49	0,38	0,80	0,54
2	0,65	0,021	0,026	1,49	0,48	2,66	0,26	0,10	0,35
3	0,74	0,018	0,031	2,09	0,78	2,61	0,27	0,23	0,53
4	0,63	0,025	0,025	1,47	0,43	2,62	0,28	0,14	0,35
5	0,68	0,023	0,027	1,57	0,76	2,76	0,23	0,09	0,47
6	0,66	0,020	0,032	1,18	0,51	2,92	0,26	0,07	0,34
7	0,70	0,018	0,030	2,67	0,76	2,69	0,27	0,61	0,50
8	0,61	0,030	0,034	1,24	0,42	2,70	0,33	0,12	0,34
9	0,57	0,023	0,033	1,87	0,70	2,83	0,32	0,25	0,48
10	0,61	0,028	0,030	1,42	0,46	2,63	0,29	0,10	0,34
11	0,55	0,027	0,023	1,62	0,53	2,66	0,29	0,18	0,36
12	0,63	0,032	0,026	1,19	0,46	2,47	0,29	0,09	0,35



Рис. 3. Внешний вид поперечного сечения пятитонного слитка, отлитого в печи ЭШП-10Г

$$[P] = 0,0467 + 0,0623X_7 - 0,023X_1X_6 - 0,375X_2X_6 - 0,052X_3X_6 + 0,0047X_3X_7 + 0,321X_4X_6 - 0,045X_4X_7;$$

$$[Si] = 3,352 + 0,375X_2 + 0,684X_1X_2 + 0,791X_1X_5 + 0,363X_1X_7 + 0,570X_2X_3 - 0,436X_2X_4 + 0,314X_2X_7 + 0,752X_5X_7;$$

$$[Mn] = 13,058 + 8,393X_4 + 4,747X_1X_2 - 1,337X_1X_4 - 6,483X_1X_5 - 4,374X_2X_4 + 19,005X_2X_6 - 0,438X_2X_7 - 5,371X_4X_6 + 2,297X_5X_7;$$

$$[Cr] = -22,839 + 2,227X_2 + 6,561X_7 - 0,641X_1X_2 + 0,738X_1X_4 - 2,423X_1X_6 - 0,282X_2X_3 - 5,239X_2X_7 + 0,836X_3X_5 - 0,851X_4X_5 - 8,387X_5X_6;$$

$$[Mo] = -1,448 + 1,653X_1X_4 + 2,104X_1X_5 - 1,140X_1X_7 - 0,295X_2X_5 - 0,292X_3X_4 + 1,069X_3X_6 + 0,024X_3X_7 + 1,37X_4X_5 + 0,432X_6X_7;$$

$$[V] = 12,28 - 8,302X_2 + 0,353X_3 - 2,626X_7 - 0,0386X_1X_3 + 0,0412X_1X_4 - 0,11X_1X_6 + 0,229X_2X_3 - 0,153X_2X_4 + 1,876X_2X_7 + 0,029X_3X_4;$$

$$[Al] = 35,573 - 22,187X_2 - 8,365X_7 - 0,981X_1X_2 + 4,318X_1X_5 - 5,828X_2X_6 + 6,482X_2X_7 + 0,983X_3X_5 - 0,286X_3X_6 - 0,167X_4X_5 - 2,782X_5X_7.$$

По полученным математическим зависимостям химического состава металла донной части слитков применительно к ЭШП сталей 9ХФ, 9Х2МФ 60Х2СМФ от компонентов флюса и с учетом марочного состава данных сталей разработаны оптимальные составы экзотермических флюсов.

Выплавку слитка, с применением разработанного способа «твердого» старта [7] (рис. 3), производили в печи ЭШП-10Г (ПАО «НКМЗ») в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе высотой 2600 и диаметром 800/850 мм. В качестве расходоуемого электрода использовали отработанный валок диаметром 500 и длиной 3500 мм из стали 60Х2СМФ.

На затравку внутрь кристаллизатора было насыпано 200 кг экзотермической смеси и 400 кг флюса АНФ-6. ЭШП выполняли при следующих режимах: ток — 20...22 кА, напряжение — 60...65 В. Время выплавки слитка диаметром 810 и высотой 1340 мм составило 6,5 ч. При выплавке такого же слитка на «твердом» старте — 8,5, а при «жидком» — 6,5 ч без учета расплавления флюса во флюсоплавильной печи — 1,5 ч. Внешних и внутренних дефектов в выплавленном слитке не обнаружено (слой восстановленного металла на рисунке имеет белый цвет со стороны затравки).

В работе [8] приведены результаты исследования свойств валковых сталей 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ, выплавленных на «твердом» старте по бифилярной схеме. Содержание кислорода в донной части слитка составляет 0,0025...0,007 %.

В работах [9, 10] исследовали качество стали 5ХНМ из выплавленного штампового кубика на «твердом» старте по бифилярной схеме ведения процесса с использованием электропроводного слоя экзотермического флюса (рис. 4). Показано, что содержание серы в донной части слитка составляет 0,0025...0,007 % [10].

Ликвационная неоднородность донной части слитка по сере (рис. 5) выражена в виде точек. При этом содержание серы в донной части слитка меньше, чем в его средней и верхней частях, что указывает на благоприятное воздействие предлагаемого способа старта на загрязненность донной части слитка.

Изучение макроструктуры исследуемой стали проводили путем визуального осмотра поверхности протравленного темплета (рис. 6). Установлено, что

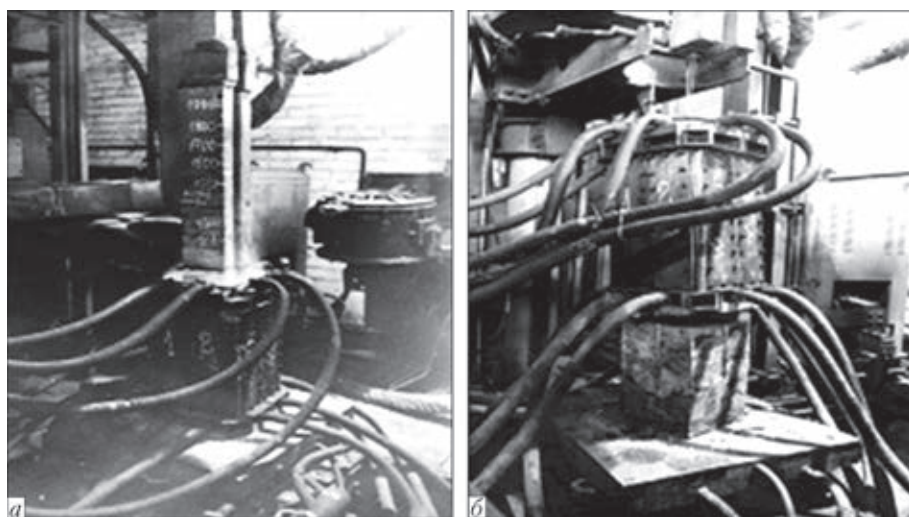


Рис. 4. Процесс электрошлакового литья штампового кубика размером 360×360×360 мм на «твердом» старте по бифилярной схеме ведения процесса: а — стартовый период плавки; б — оснастка и штамповый кубик после отделения отливки

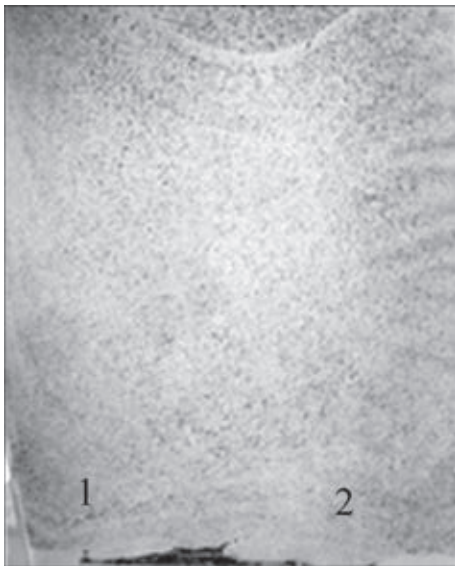


Рис. 5. Распределение серы в центральном продольном темплете штампового кубика: 1, 2 — следы возбуждения дуг расплавляемыми электродами на «твердом» старте по бифилярной схеме ведения процесса

литой металл донной части слитка плотный, трещины, пустоты и другие дефекты отсутствуют, а столбчатые кристаллы направлены почти параллельно осевой линии темплета. В средней и верхней частях четко выражена зона столбчатых кристаллов, расположенных под углом $45 \dots 60^\circ$ к осевой линии темплета. В центральной части имеется зона равноосных кристаллов.

Испытания механических свойств исследуемого кубика показали, что они находятся на уровне ковального металла открытой выплавки, а высокие значения коэффициента анизотропии $0,91 \dots 0,98$ свидетельствуют о высокой однородности литого электрошлакового металла. Химический анализ осадка, полученного способом электролитического растворения образцов, изготовленных из исследуемого штампового кубика, показал, что металл как по высоте, так и по сечению характеризуется более низким содержанием неметаллических включений, чем кованный металл.

В работах [11–14] приведено влияние экзотермических материалов, применяемых в электрошлаковых процессах, на производительность расплавления, а в работе [15] – на структуру наплавляемого металла.

Выводы

1. Показано, что эффективным способом повышения производительности электрошлаковых процессов является использование экзотермического флюса: окислы, ферросплавов и алюминиевого порошка в количествах достаточных для протекания экзотермических реакций.

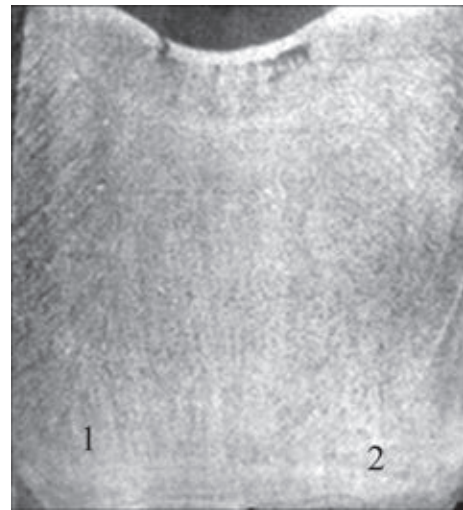


Рис. 6. Макроструктура металла центрального продольного темплета из штампового кубика электрошлаковой стали 5ХНМ (обознач. 1 и 2 см. на рис. 5)

2. Экспериментально установлено, что в качестве компонента экзотермического флюса целесообразно использование окислы, являющейся отходом прокатного или кузнечно-прессового производства с размером частиц $0,1 \dots 2,5$ и легирующих элементов – $0,1 \dots 6,0$ мм.

3. Разработан технологический процесс ускоренного наведения шлаковой ванны на «твердом» старте при моно- и бифилярной схемах ведения электрошлакового процесса.

4. Определена принципиальная возможность разработки состава экзотермического флюса, обеспечивающего получение химического состава восстановленного металла эквивалентного марочному составу сталей 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ.

5. Установлено, что применение экзотермического легированного флюса не оказывает отрицательного влияния на качество восстановленного металла и позволяет использовать флюсоплавильные печи под электрошлаковые процессы изготовления крупногабаритных деталей ответственного назначения.

1. Латаш Ю. В., Медовар Б. И. Электрошлаковый переплав. — Киев: Металлургия, 1970. — 239 с.
2. А.с. 1396618 СССР, МКИ С22 В 9/18. Способ старта электрошлакового переплава / А.Ф. Власов, Г.А. Молодан, А.С. Волков и др. — Заявл. 09.07.1986.
3. А.с. 1533346. SU А1, С22 В 9/18. Способ старта электрошлакового переплава / А.Ф. Власов, Г.А. Молодан, В.Ф. Задирака и др. — Заявл. 16.02.1988.
4. Физико-химические свойства окислы как компонента экзотермической смеси в сварочных материалах / А.Ф. Власов, В.М. Карпенко, С.Г. Плис и др. // Вісн. Донбас. держ. машинобудівної академії. — 2006. — № 3. — С. 158–163.
5. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA: методология и тех-



- нология современного анализа данных: учеб. пособие. — М.: Горячая линия – Телеком, 2013.
6. Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. — СПб.: Питер, 2001. — 656 с.
 7. А.с. 1200581 СССР, МКИ В 22д, 27/02. Способ старта электрошлакового переплава / А.Ф. Власов, Г.А. Молодан, А.С. Волков и др. — № 3421264/25; Заявл. 12.04.1982.
 8. Физико-химические свойства валковых сталей 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ / А.Ф. Власов, В.М. Карпенко, Г.Б. Бильк, О.В. Веремей // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Тематич. зб. наук. праць ДДМА. — Краматорськ, 2004. — С. 643–646.
 9. Власов А.Ф., Макаренко Н.А. Электрошлаковый переплав на «твердом» старте по бифилярной схеме ведения процесса с использованием экзотермических электропроводных флюсов // Свароч. пр-во. — 2014. — № 4. — С. 20–25.
 10. Влияние электрошлакового переплава на свойства литой штамповой стали 5ХНМ / А.Ф. Власов, Г.А. Молодан, М.М. Дьяков, Т.С. Изотова // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1989. — № 2. — С. 23–29.
 11. Власов А.Ф. Интенсификация сварочных и электрошлаковых процессов / Зварювання та споріднені технології — теперішнє і майбутнє: Матер. Міжнар. наук.-техн. конф. 25–26 лист. 2013 р. — Київ : ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 2013. — С. 192.
 12. Власов А.Ф., Макаренко Н.О. Электрошлаковый переплав виробів на «твердому» старті з використанням екзотермічних флюсів // Вісн. Тернопіл. техн. ун-ту. — 2014. — № 1. — С. 153–165.
 13. Власов А.Ф. Электрошлаковое кокильное литье деталей ответственного назначения с использованием экзотермических электропроводных флюсов // Технология машиностроения. — 2014. — № 3. — С. 10–15.
 14. Власов А.Ф. Электрошлаковое литье деталей горного оборудования с использованием экзотермических электропроводных флюсов // Там же. — 2014. — № 7. — С. 11–15.
 15. Термическая обработка металла экзотермическим флюсом в процессе автоматической наплавки / В.С. Попов, Н.Н. Брыков, Ю.М. Ткаченко, А.К. Цокур // Автомат. сварка. — 1975. — № 12. — С. 46–49.

It is shown that exothermic electrically conducting fluxes provide additional heat evolution in the starting period of electroslag processes and accelerate inducing the slag pool of the required volume at “solid” starting, both with monofilar and bifilar circuits of conducting the process, instead of «liquid» starting. New methods of working flux melting in electroslag processes were developed, which allow increasing the metal yield up to 3 %, lowering power and working flux consumption by 10 and 20 %, respectively. Technology of development of exothermic conducting flux in the solid state with application of experiment planning method is described. It is shown that exothermic flux essentially reduces the time for inducing the slag pool of the required volume. Fundamental possibility was determined for development of exothermic flux composition, which provides the restored metal composition equivalent to grade composition of 9KhF, 9Kh2M, and 60Kh2SMF steels. It is shown that application of scale as exothermic flux component is rational. Scale is the waste generated in rolling and press-forging production of ferroalloys with 0.1–2.5 and 0.1–6.0 mm particle size, respectively. 15 References, 6 Tables, 6 Figures.

Key words: *electroslag process; exothermic flux; slag pool; die; mono- and bifilar circuits; template*

Поступила 24.02.2015

Наплавка. Технологии, материалы, оборудование / Составители: И. А. Рябцев, И. А. Кондратьев, Е. Ф. Переплетчиков, Ю. М. Кусков. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, 2015. — 402 стр.

Сборник включает 119 статей сотрудников отдела «Физико-металлургических процессов наплавки износостойких и жаропрочных сталей» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. В этих статьях обобщен многолетний опыт сотрудников отдела в области исследований и разработки новых способов наплавки, наплавочных материалов, технологий наплавки, создании наплавочного оборудования.

Результаты исследований, которые приводятся в сборнике статей, не потеряли актуальности до настоящего времени и данный сборник будет полезен научным и инженерно-техническим работникам институтов и предприятий, занимающихся проблемами наплавки. Он может быть также полезен студентам ВУЗов и аспирантам соответствующих специальностей.

