

ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

УДК 669.187.56

© Власов А.Ф.¹, Макаренко Н.А.², Чигарев В.В.³

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫХ ПРОЦЕССОВ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИМИ СМЕСЯМИ (ФЛЮСАМИ)

Установлено, что эффективным способом повышения производительности электрошлаковых процессов является использование экзотермической смеси (механической смеси окалины, алюминиевого порошка и стандартного флюса) или экзотермического флюса (механической смеси окалины, ферросплавов, алюминиевого порошка и стандартного флюса) в количествах, достаточных для протекания экзотермических реакций. Экспериментально определено наличие электропроводного слоя экзотермического флюса, позволяющего осуществлять электрошлаковый процесс по моно-, бифилярной или трехфазной схемам с использованием "твердого" старта.

Ключевые слова: экзотермический флюс, электрошлаковый процесс, "твердый" старт, кубик, слиток, шлаковая ванна.

Власов А.Ф., Макаренко Н.О., Чигарьев В.В. Интенсифікація електрошлакових процесів екзотермічними сумішами (флюсами). Встановлено, що ефективним способом підвищення продуктивності електрошлакових процесів є використання екзотермічної суміші (механічної суміші окалини, алюмінієвого порошку й стандартного флюсу) або екзотермічного флюсу (механічної суміші окалини, феросплавів, алюмінієвого порошку й стандартного флюсу) у кількостях достатніх для протікання екзотермічних реакцій. Експериментально визначена наявність електропроводного шару екзотермічного флюсу, який дозволяє здійснювати електрошлаковий процес по моно-,біфілярній або трифазній схемах з використанням "твердого" старту.

Ключові слова: екзотермічний флюс, електрошлаковий процес, "твердий" старт, кубик, злиток, шлакова ванна.

A.F. Vlasov, N.O. Makarenko, V.V. Chigarev. Intensification of the electro slag process exothermic mixtures (fluxes). It is established that an effective way to improve performance is to use the electro slag processes exothermic mixture (mechanical mixture scaling of aluminum powder and a standard flux) or flux exothermic (mechanical scaling mixtures, alloys, aluminum powder and a flux standard) in amounts sufficient for the exothermal reaction. Experimentally is defined the presence of the electrically conductive layer exothermic flux, allowing to carry out the electro slag process mono, bifilar or three-phase circuit using a "solid" start. The influence of the exothermic metal-flux mixtures to hold electro slag processes. Submitted exothermic flux composition consisting of a mixture of dross and aluminum powder, the alloying additives are calculations of thermal effects, and the optimal ratios and electrode coating formulation with the exothermic mixture. The results of investigation of influence of particle size distribution of ferroalloys on solubility in reducing metal when the exothermic reaction and the chemical com-

¹ канд. техн. наук, доцент, ДГМА «Донбасская государственная машиностроительная академия», г. Краматорск, sp@dgma.donetsk.ua

² д-р техн. наук, профессор, ДГМА «Донбасская государственная машиностроительная академия», г. Краматорск, sp@dgma.donetsk.ua

³ д-р техн. наук, профессор, ПГТУ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, chigarew07@rambler.ru

position of electro-metal. The dependence of the electro-chemical composition of the metal particle size distribution of ferroalloys and method of melting exothermic flux. The optimum particle size. When the exothermic process and the mixture of aluminum dross occurs to change the chemical composition of the slag at the expense of additional content of aluminum oxide formed, but it does not reduce the ability of fluoride desulfurizing flux used in the electro slag processes. The results of studies of formation of the metal structure using ekzosmesi content of nonmetallic inclusions. The results of technical and economic parameters ways start ESR. It is proved that the use of exothermic alloyed flux does not affect the quality of melted metal. The use of exothermic alloyed flux allows more efficient use flux melting furnace and put them in the manufacture of parts for various purposes. Introduction exothermic mixture or exothermic flux can increase productivity electro slag process.

Keywords: exothermic flux, electro slag process, "solid" start, cube, slag bath.

Постановка проблеми. Разработка экзотермических металлофлюсовых смесей (экзотермических флюсов), обеспечивающих электропроводность и возможность проведения по моно- и бифилярной (или трехфазной) схемам ведения процесса на "твердом" старте, обеспечение соответствия при их расплавлении физико-химических свойств электрошлакового металла переплавляемому металлу.

Анализ последних исследований и публикаций. Существующие электрошлаковые процессы (электрошлаковая сварка, электрошлаковый переплав, электрошлаковое литье) осуществляются на «твердом» или «жидком» стартах. При "твердом" старте расплавление рабочего флюса, наведение шлаковой ванны необходимого объема осуществляется в дуговом режиме. Данный способ характеризуется нестабильностью (частыми короткими замыканиями), неравномерным и длительным расплавлением флюса (низкой производительностью) [1–9]. При "твердом" старте флюс, засыпанный в кристаллизатор, расплавляется расходуемым электродом. При этом, расплавление флюса и наведение шлаковой ванны выполняется различными способами: применением электропроводного в твердом состоянии флюса АН-25, использованием прессованных экзотермических брикетов или самоплавящихся флюсовых смесей.

Расход самоплавящихся флюсов обычно невелик и не превышает 2% от массы рабочего флюса. Основная роль таких флюсов заключается в обеспечении ускоренного перехода от дугового к бездуговому процессу в начальный период их расплавления. При этом, на полное расплавление флюса тратится значительное количество времени, в результате чего снижается производительность печи. За рубежом для ускорения "твердого" старта используется способ [2] с применением экзотермической смеси, содержащей плавиковый шпат, алюминий, молотую окалину и перхлорат аммония. Из-за отсутствия в смеси легирующих элементов и небольшого количества окалины (20...30%) он не позволяет существенно снизить время на расплавление всего флюса и повысить выход годного металла.

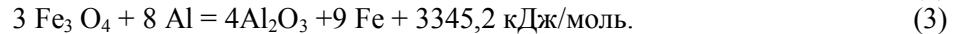
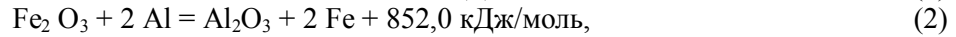
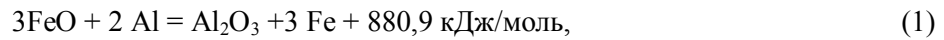
Изготовление крупных деталей способами электрошлаковой технологии осуществляется на печах бифилярного или трехфазного типа с использованием "жидкого" старта методом сифонной заливки расплавленного за пределами печи шлака в карман (при электрошлаковой сварке), в нижнюю часть кристаллизатора (при электрошлаковом переплаве) или тигля (при электрошлаковом кокильном литье). 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 новыми способами электрошлаковой технологии [3-9].

Цель работы – установить закономерности влияния экзотермических металлофлюсовых смесей (экзотермических флюсов) на возможность проведения электрошлаковых процессов на "твердом" старте по моно- и бифилярной (или трехфазной) схемам, на интенсивность протекания стартового периода наведения шлаковой ванны необходимого объема, а также на соответствие при их расплавлении физико-химических свойств электрошлакового металла переплавляемому.

При плавлении экзотермического флюса, представляющего собой механическую смесь окалины, алюминиевого порошка, легирующих элементов (в виде ферросплавов или порошков и

стандартного флюса (АНФ-6 или др.)) происходит восстановление железа (до 70% от массы окалины), которое оседает на затравку и образует донную часть слитка. При введении в состав экзотермического флюса легирующих элементов в виде ферросплавов или порошков происходит легирование восстановленного железа и полностью устраняется расход переплавляемого электродного металла на образование донной части слитка. Для полного расплавления вводимых в состав флюса легирующих элементов необходимо затратить соответствующее количество тепла. Таким дополнительным источником тепла является теплота, выделяющаяся при взаимодействии (в основном) оксидов железа с алюминием, что соответствует следующим реакциям:



Проведенными исследованиями [10] установлено, что при изменении содержания в покрытии электродов экзотермической смеси, состоящей из окалины и алюминиевого порошка, от 35 до 64% прирост температуры составляет 1280°C и является достаточной для полного расплавления ферросплавов.

С целью определения влияния гранулометрического состава ферросплавов на их растворимость в восстанавливаемом металле из окалины и на физико-химические свойства электрошлакового металла производилось дробление сплавов FeMn, FeSi, FeCr, FeV, FeMo с последующим просевом через соответствующие сита. Экспериментальные плавки выполнялись с применением ферросплавов с размером частиц, мм: 0,10–0,16; 1,6–2,5 и 4,0–6,0. В качестве компонента экзотермической смеси использовалась окалина, являющаяся отходом кузнечно-прессового производства (с размером частиц 0,10–2,5 мм).

Расплавление экзотермического флюса производилось в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе диаметром 170/160 мм нерасходуемым электродом на «твердом» старте (применение расходуемого электрода нецелесообразно из-за трудноучитываемого его влияния на восстановленный металл при перемешивании). Количество экзотермического флюса (12 кг) и флюса АНФ-6 (4 кг) обеспечивает получение слитков диаметром 160 мм и высотой 50–60 мм (рис. 1).

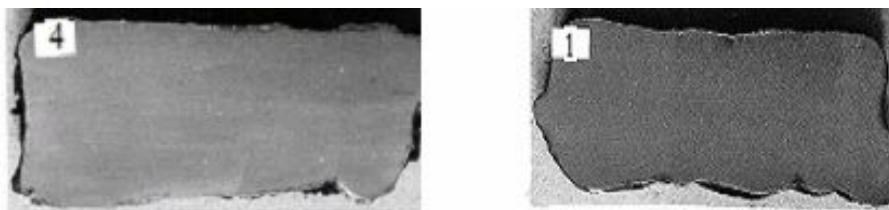


Рис. 1 – Макроструктура продольных темплетов из слитков, выплавленных нерасходуемым электродом с применением ферросплавов различного гранулометрического состава; размер частиц, мм: 1 – 0,10–0,15; 4 – 4,0–6,0

Макроструктура выплавленного металла в исследованных слитках – плотная, однородная, характеризуется отсутствием в нем пор, флокенов или других дефектов (рис. 1).

Приведенные на рис. 2 серные отпечатки выплавленных слитков, а также данные химического анализа (табл. 1) показывают, что при использовании нерасходуемого электрода содержание серы в слитках незначительное. Исследования показали, что изменение химического состава шлака за счет увеличения содержания в нем оксида алюминия не снижает десульфировующую способность фторидных флюсов, а основным поставщиком серы в электрошлаковый металл является расходуемый электрод.

В качестве расходуемого электрода использовались заготовки из стали 9ХФ диаметром 90мм. Также был испытан вариант расплавления экзотермического флюса, помещенного в тонкостенную трубу. Состав экзотермического флюса во всех случаях был одинаков. В таблице 1 приведен химический состав металла исследуемых слитков, полученного при переплаве экзотермического флюса расходуемым и нерасходуемым электродами.

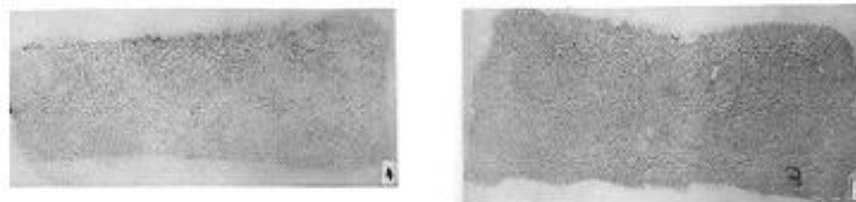


Рис. 2 – Серные отпечатки продольных темплетов из слитков, выплавленных с применением ферросплавов с размером частиц 4–6 мм нерасходуемым (4) и расходным электродами (3)

Таблица 1

Влияние гранулометрического состава ферросплавов на химический состав электрошлакового металла

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

Химический состав электрошлакового металла зависит как от гранулометрического состава ферросплавов, так и от способа расплавления экзотермического флюса. При применении расходного электрода влияние гранулометрического состава ферросплавов на химический состав металла незначительно, поэтому дальнейшие исследования проводились при размере частиц ферросплавов, находящихся в пределах 0,1–6,0 мм.

При расплавлении экзотермического легированного флюса образуется шлак, содержащий 55–60% CaF₂ и 40–45% Al₂O₃, который соответствует рекомендациям применения для электрошлакового переплава флюсов системы CaF₂–Al₂O₃, содержащих 40–45% Al₂O₃ [11].

Исследования влияния экзотермического легированного флюса на физико-химические свойства (химический и газовый составы, содержание неметаллических включений, микроструктуру восстановленного легированного металла в нижней части слитка валковых сталей марок 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ применительно к их электрошлаковому переплаву на "твердом" старте) показали, что они соответствуют таким же показателям в средней и верхней части слитка [12].

В работе [13] приведены результаты исследования качества стали 5ХНМ из выплавленного штампового кубика на "твердом" старте по бифилярной схеме ведения процесса с использованием электропроводного слоя экзотермического флюса (рис. 3).

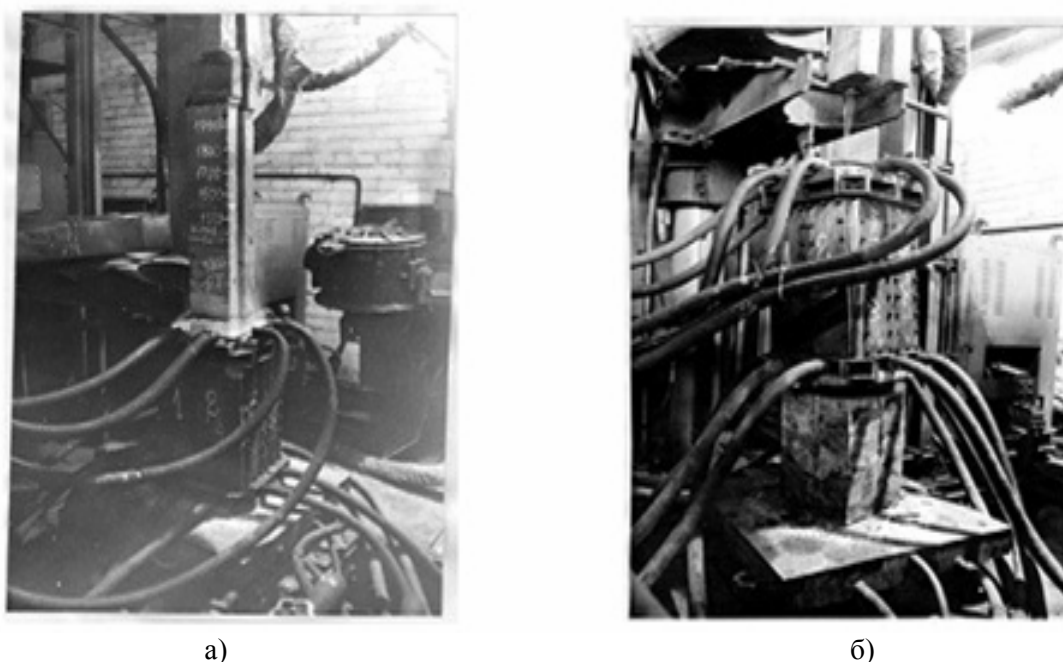


Рис. 3 – Процес електрошлакового лиття штампового кубика розміром 360x360x360 мм: а – стартовий період плавки (засветка шлакової ванни); б – оснастка і штамповий кубик після отделення отливки

Установлено, що литий метал донної частини слитка щільний; тріщини, порожнечі і інші дефекти відсутні; столбчаті кристали направлені майже паралельно осевій лінії темплета. Испитання механічних властивостей досліджуваного кубика показали, що вони знаходяться на рівні кованим металом відкритої виплавки, а високі значення коефіцієнта анізотропії (0,91–0,98) свідчать про високу однорідність литого електрошлакового металу. Хімічний аналіз осаду, отриманого способом електролітичного розчинення зразків, виготовлених з досліджуваного штампового кубика, показав, що метал (як за висотою, так і за сеченням) характеризується більш низьким вмістом неметалічних включень порівняно з кованим металом.

Показателі порівняльних випробувань оптимального варіанта розробленого способу старту і застосовуваних (в даний час) "твердого" і "рідкого" стартів електрошлакового переплаву, наведені в таблиці 2, показують, що розроблений спосіб старту ЕШП при однакових умовах дозволяє підвищити продуктивність процесу електрошлакового переплаву і збільшити вихід годного металу на 2–7%. Крім того, при розплавленні екзотермічного флюса утворюється наступна складова шлаку: оксид алюмінію (Al_2O_3), маса якого становить до 20% від необхідної маси розплавляемого робочого флюсу.

Таблиця 2
Техніко-економічні показателі порівнюваних способів старту електрошлакового переплаву

Техніко-економічні показателі розглянутих способів старту		Спосіб старту			
		"твердий"		"рідкий"	
		металічна стружка, алюмінієвий порошок, флюс АНФ-6	пропонується	рідкий	пропонується
діаметр, мм	кристаллизатора	235/240	235/240	350	350
	електрода	150	150	190	190
режим плавки	ток, кА	5,5	5,5	7,2–7,4	7,2–7,4
	напруга, В	48	48	48	48

Продолжение таблицы 2

время установления устойчивого режима плавки, мин	15	4	75	63
длина расплавленного электрода, мм	260	435	3080	3080
масса выплавленной отливки, кг	35,5	60,0	650	652
время плавки, мин	24	20	325	305
время полного расплавления флюса, мин	23	16	-	-
масса расплавленного флюса, кг	12	12	31	31
удельная производительность флюса, кг/мин	1,48	3,0	2,0	2,1
массовая скорость расплавления флюса, кг/мин	0,52	0,75	-	-
выход годного металла, %	85	95	90	92
продолжительность расплавления флюса во флюсоплавильной печи, мин			60	-

Выводы

1. Установлено, что эффективным способом повышения производительности электрошлаковых процессов является использование экзотермической смеси или экзотермического флюса (окалина, ферросплавов и алюминиевого порошка) в количествах, достаточных для протекания экзотермических реакций.

2. Экспериментально подтверждено наличие электропроводного слоя экзотермического флюса, что позволяет вести электрошлаковый процесс по моно-, бифилярной или трехфазной схемам с использованием «твердого» старта.

3. Доказано, что применение экзотермического легированного флюса не оказывает отрицательного влияния на качество расплавленного металла и позволяет использовать высвобождающиеся флюсоплавильные печи под электрошлаковые процессы изготовления крупногабаритных деталей ответственного назначения.

Список использованных источников:

1. Латаш Ю.В. Электрошлаковый переплав / Ю.В. Латаш, Б.И. Медовар. – К. : Metallurgy. – 1970. – 239 с.
2. Pat. 1181663 GB, Int. Cl. B 22 d 23/06. Production of Ingots by Electroslag Remelting Processes / W. Alexander, F. Ravault. – №19968/66; filed 26.04.67; published 18.02.70. – 10 p.
3. Пат. 36618 А Україна, МПК В 23 К 25/00. Спосіб електрошлакового зварювання / В.М. Карпенко, А.Ф. Власов; Донбаська державна машинобудівна академія. – №2000010204; заявл. 13.01.00; опубл. 16.04.01, Бюл. №3. – 2 с.
4. Пат. 71290 А Україна, МПК В 23 К 9/04. Спосіб електродугового наплавлення / А.Ф. Власов, В.М. Карпенко, С.В. Жаріков, А.В. Нерівний; Донбаська державна машинобудівна академія. – №20031211810; заявл. 18.12.03; опубл. 15.11.04, Бюл. №11. – 2 с.
5. Тягун-Белоус Г.С. Электропроводный флюс в твердом состоянии для возбуждения электрошлакового процесса / Г.С. Тягун-Белоус // Автоматическая сварка. – 1958. – №4. – С. 65-66.
6. Дидковский В.П. Твердый флюс для возбуждения процесса электрошлаковой сварки титана / В.П. Дидковский // Автоматическая сварка. – 1958. – №4. – С. 95-96.
7. Максимович Б.И. Наведение шлаковой ванны с помощью самоплавящегося флюса / Б.И. Максимович // Автоматическая сварка. – 1959. – №10. – С. 90-91.
8. Власов А.Ф. Повышение производительности электрошлаковых процессов / А.Ф. Власов,

- А.А. Богущкий // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : Зб. наук. праць. – 2008. – №3Е(14). – С. 20-27.
9. Власов А.Ф. Электрошлаковый переплав виробів на «твердому» старті з використанням екзотермічних флюсів / А.Ф. Власов, Н.А. Макаренко // Вісник Тернопільського технічного університету : Зб. наук. праць. – 2014. – №1(73). – С. 153-165.
 10. Власов А.Ф. Экспериментальное определение экзотермического процесса, протекающего при нагреве и плавлении электродов / А.Ф. Власов // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : Зб. наук. праць ДДМА. – №2(4). – 2006. – С. 65-68.
 11. Кейс Н.В. Применение графитового электрода для предварительного расплавления шлаковых смесей / Н.В. Кейс, А.И. Комисаров // Сталь. – 1966. – С. 620.
 12. Физико-химические свойства валковых сталей 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ / А.Ф. Власов [и др.] // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : Зб. наук. праць ДДМА. – 2004. – С. 643-646.
 13. Власов А.Ф. Электрошлаковый переплав на твердом старте по бифилярной схеме ведения процесса с использованием экзотермических электропроводных флюсов / А.Ф. Власов, Н.А. Макаренко // Сварочное производство. – 2014. – №4. – С. 20-25.

Bibliography:

1. Latash U.V. Electroslag remelting / U.V. Latash, B.I. Medovar. – Kiyev : Metallurgiya. – 1970. – 239 p. (Rus.)
2. Pat. 1181663 GB, Int. Cl. B 22 d 23/06. Production of Ingots by Electroslag Remelting Processes / W. Alexander, F. Ravault. – №19968/66; filed 26.04.67; published 18.02.70. – 10 p.
3. Pat. 36618 A Ukraine, Int. Cl. B 23 K 25/00. Method for electro-slag welding / V.M. Karpenko, A.F. Vlasov; Donbas state machine building academy. – №2000010204; filed 13.01.00; published 16.04.01, Bull. №3. – 2 p. (Ukr.)
4. Pat. 71290 A Ukraine, Int. Cl. B 23 K 9/04. Method for arc surfacing / A.F. Vlasov, V.M. Karpenko, S.V. Zharikov, A.V. Nerivnyy; Donbas state machine building academy. – №20031211810; filed 18.12.03; published 15.11.04, Bull. №11. – 2 p. (Ukr.)
5. Tyagun-Belous G.S. The conductive flux in the solid state to excite the electros slag process / G.S. Tyagun-Belous // Automatic welding. – 1958. – №4. – P. 65-66. (Rus.)
6. Didkovskiy V.P. Solid flux to initiate the process of electros slag welding of titanium / V.P. Didkovskiy // Automatic welding. – 1958. – №4. – P. 95-96. (Rus.)
7. Maksimovic B.I. Guidance slag bath using self melting flux / B.I. Maksimovic // Automatic welding. – 1959. – №10. – P. 90-91. (Rus.)
8. Vlasov A.F. Increased productivity electros slag processes / A.F. Vlasov, A.A. Bogucki // Journal of Donbass State Engineering Academy: scientific research journal. – 2008. – №3Е(14). – P. 20-27. (Rus.)
9. Vlasov A.F. Electro-slag remelting articles on «solid» start using exothermic flux / A.F. Vlasov, N.A. Makarenko // Journal of Ternopil Technical University: scientific research journal. – 2014. – №1(73). – P. 153-165. (Ukr.)
10. Vlasov A.F. Experimental determination of the exothermic process that takes place during the heating and melting of the electrode / A.F. Vlasov // Journal of Donbass State Engineering Academy : Collection of scientific papers DSEA. – №2(4). – 2006. – P. 65-68. (Rus.)
11. Keys N.V. The use of a graphite electrode for preliminary melting slag mixtures / N.V. Keys, A.I. Komisarov // Steel. – 1966. – P. 620. (Rus.)
12. Physico-chemical properties of steel roll 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ / A.F. Vlasov [and others] // Improving processes and equipment fabrication in metallurgy and mechanical engineering : Collection of scientific papers DSEA. – 2004. – P. 643-646. (Rus.)
13. Vlasov A.F. Electros slag remelting on a solid start to the bifilar scheme reference exothermic process using conductive flux / A.F. Vlasov, N.A. Makarenko // Welding production. – 2014. – №4. – P. 20-25. (Rus.)

Рецензент: В.И. Щетинина
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ЛГТУ»

Статья поступила 24.11.2014