

УДК 621.791.048: 621.74.04

О ВЫБОРЕ ФЛЮСА ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ НЕКОМПАКТНЫХ ОТХОДОВ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

В.Н. Шабалин, Д.Д. Шаханов

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

В работе приведены результаты исследования по определению наиболее эффективного использования существующих шлаковых систем плавящихся флюсов при электрошлаковой тигельной плавке некомпактных отходов черных и цветных металлов. В производственных условиях выполнены плавки некомпактных отходов стали, чугуна, меди, латуни и алюминия в виде стружки и мелкогабаритного лома электрошлаковым способом в графитовых и керамических тиглях неплавящимися графитовыми электродами. В ходе проведенных исследований и промышленных плавов произведен обоснованный выбор шлаковых систем флюсов для переплавляемых некомпактных отходов черных и цветных металлов. Конкретизированы наиболее целесообразные марки флюсов для электрошлаковой тигельной плавки некомпактных отходов высоколегированной стали, чугуна, меди, латуни и алюминия. Определены технико-экономические показатели процесса плавки некомпактных отходов черных и цветных металлов по расходу электрической энергии на килограмм наплавленного металла, расходу флюсов, процентам выхода годного и возможности получения требуемого химического состава жидкого металла.

Ключевые слова: электрошлаковая тигельная плавка, графитовый электрод, тигель, флюс, шлаковая система, некомпактные отходы металлов, технико-экономические показатели.

ABOUT CHOOSING A FLUX FOR ELECTROSLAG CRUCIBLE MELTING OF NON-COMPACT WASTE FERROUS AND NON-FERROUS METALS

Shabalin V. N. – PhD, Professor, Shahanov D. D. - engineer

The Altai state technical university of I.I. Polzunov, Barnaul

The paper presents the results of a study to determine the most effective use of existing slag systems fused fluxes in electroslag crucible melting of non-compact wastes of ferrous and non-ferrous metals. In a production environment is made non-compact waste melting steel, iron, copper, brass and aluminium shavings and small scrap by electroslag method in a graphite and ceramic crucibles graphite nonconsumable electrodes. In the course of the research and industrial melting made an informed choice of slag systems of flux being melted for-profit wastes of ferrous and non-ferrous metals. Fleshed out the most appropriate brand fluxes for electroslag crucible melting of non-compact waste high-alloy steels, cast iron, copper, brass and aluminum. Defined technical and economic indicators of melting non-compact wastes of ferrous and non-ferrous metals consumption of electrical energy on the quality of the deposited metal, the flow of fluxes, percentage of the yield and the possibility of obtaining of required chemical composition of liquid metal.

Keywords: electroslag melting crucible, graphite electrode, crucible, flux, slag system, non-compact waste metal, technical-economic indicators.

Проблема получения качественного литого металла с максимальным выходом годного при плавке некомпактных отходов черных и цветных металлов по-прежнему является

одной из важных задач в машиностроительном производстве [1-3]. В промышленности существует ряд технологических процессов переплава алюминиевой, латунной, медной, стальной и чугунной стружки, которые имеют

свои достоинства и недостатки, и, в силу специфических особенностей производства, имеют определенные технические ограничения и не решают проблему в целом [4-6].

Наиболее перспективной в этом плане является технология электрошлаковой тигельной плавки основанная на электрошлаковом процессе с использованием соответствующих флюсов, при которой обеспечивается не только высокое качество, но и максимальный выход годного металла [7].

Сущность предлагаемой электрошлаковой технологии плавки некомпактных отходов черных и цветных металлов, заключаются в том, что электрошлаковый процесс ведется в специальном керамическом или графитовом тигле с использованием неплавящегося графитового электрода. Загружаемые в тигель некомпактные отходы черных и цветных металлов в виде стружки, брикетов, мелкоразмерного лома, проходя через разогретый электрическим током шлак расплавляются и образуют на дне керамического или графитового тигля жидкую металлическую ванну. При этом накапливаемый жидкий металл в тигле не окисляется и находится во время всего процесса плавки под защитой расплавленного шлака.

Эксперименты и промышленной плавки показали, что при электрошоковом переплаве стружки сталей, чугуна, латуни, алюминиевых сплавов набор жидкого металла в тигле можно доводить до 50... 100 кг при сохранении устойчивого электрошлакового процесса и получения высококачественного рафинированного расплавленным флюсом литого металла.

Реализация предложенной технологии производилась с использованием серийного аппарата А-550 МУ для электрошлакового переплава (ЭШП) конструкции ИЭС им. Е.О. Патона с источником питания ТШС-3000-1 в комплекте со специально изготовленной установкой для переворачивания тиглей и донным токоподводом к ним. Над рабочим местом для электрошлаковой тигельной плавки некомпактных отходов черных и цветных металлов устраивалась мощная вытяжная вентиляция. Флюсы при этом являются неотъемлемой составляющей частью электрошлаковой технологии тигельной плавки некомпактных отходов черных и цветных металлов.

Основной целью данной работы являлось определение наиболее эффективного использования флюса при электрошлаковой тигельной плавке с графитовым электродом некомпактных отходов черных и цветных металлов в производственных условиях.

Известно, что эффективность электрошлаковых процессов зависит в основном от свойств флюсов, определяющихся главным образом их составом [8-11].

Существует несколько общих функций, которые флюс выполняет в электрошлаковых процессах, и это, прежде всего, энергопреобразующая функция. Расплавленный флюс является участком электрической цепи с определенным сопротивлением, на котором происходит преобразование электрической энергии в тепловую. Кроме того, он выполняет теплопередающую функцию, от которой зависит энергетическая эффективность процесса. Эта эффективность тем выше, чем полнее и интенсивнее жидкий флюс передает теплоту расплавляемому металлу. Одной из важных функций флюсов является рафинирование. Расплавленный флюс должен обладать максимальным межфазным натяжением на границе с жидким металлом и минимальным - с неметаллическими включениями. Реакционная способность флюса должна обеспечивать удаление вредных примесей, имеющихся окислов и в то же время не вызывать взаимодействие и восстановление компонентов из флюса в жидкий металл. Флюс должен содержать минимальное количество нестойких соединений для обеспечения постоянства химического состава переплавляемого металла. Кроме того он должен обеспечивать высокую стабильность электрошлакового процесса. Температура плавления флюса должна быть ниже, а плотность меньше, чем у переплавляемого и рафинируемого металла. Важна и защитная функция флюса - расплавленный шлак должен изолировать жидкий металл от взаимодействия с окружающей атмосферой. Применение флюса должно быть экономически целесообразно и не оказывать вредного влияния на здоровье человека.

При электрошлаковой тигельной плавке некомпактных отходов резко возрастает длительность процесса накопления жидкого металла в тигле, а, следовательно, к флюсам предъявляются более жесткие требования по стабильности химического состава, достаточной рафинировочной емкости, физическим свойствам, по индифферентности по отношению к материалу тигля или его футеровке, обеспечению стабильности электрошлаковой тигельной плавки в течение всего процесса.

Во всех электрошлаковых процессах, предусматривающих использование не расходующихся графитовых электродов, повышается требование к рафинирующей способности

флюсов, флюс также должен предотвращать науглероживание переплавляемого металла.

Используемые при электрошлаковой тигельной плавке некомпактных отходов черных и цветных металлов шлаковые системы могут представлять собой солевые, оксидные или оксидно-солевые расплавы с определенной температурой плавления, электрической проводимостью, вязкостью, поверхностным натяжением и другими требуемыми физико-химическими свойствами.

Требование гомогенности шлаковой ванны при рабочих температурах электрошлакового процесса делает необходимым использование флюса с температурой плавления ниже температуры ликвидуса переплавляемых металлических отходов. При этом температура плавления флюсов для электрошлаковой тигельной плавки отходов меди, бронзы должна составлять 1000... 1050 °C, латуней - 950... 1000 °C, алюминия - не более 600 °C, чугуна - 1350...1400 °C, для сталей - 1540...1670 °C. Такие соотношения обусловлены тем, что использование легкоплавкого флюса может явиться причиной его интенсивного испарения. Самую низкую температуру плавления имеют солевые флюсы, самую высокую - оксидные. Промежуточное положение между ними занимают оксидно-солевые флюсы.

Ниже приведена температура плавления некоторых компонентов, входящих во флюсы для электрошлаковой тигельной плавки некомпактных отходов черных и цветных металлов: CaF_2 - 1402 °C; CaCl_2 - 772 °C; CaO - 2572 °C; NaF - 990 °C; NaCl - 801 °C; Na_3AlF_6 - 1035 °C; Al_2O_3 - 2050 °C; MgF_2 - 1263 °C; MgCl_2 - 707 °C; MgO - 2800 °C; BaF_2 - 1280 °C; BaCl_2 - 960 °C; BaO - 1920 °C; LiF - 890 °C; SiO_2 - 1710 °C; TiO_2 - 1640 °C; MnO - 1650 °C; LiCl - 614 °C; LiF - 870 °C; ZrO_2 - 2700 °C.

Плотность расплавленных шлаков при электрошлаковой тигельной плавке некомпактных отходов черных и цветных металлов является также одним из важнейших свойств. Наименьшую плотность имеют солевые флюсы. Например, у флюса марки АНФ-1 при 1450 °C плотность равна 2,52 г/см³ и снижается при вводе других солей NaF - 1,95 г/см³, NaCl - 1,55 г/см³, Na_3AlF_6 - 2,09 г/см³. В оксидно-солевых флюсах дополнительный ввод оксидов повышает их плотность. Еще в большей степени повышает плотность шлаковых расплавов ввод глинозема Al_2O_3 . Плотность флюса марки АНФ-6 при 1450 °C составляет 2,88 г/см³. Рост плотности жидкого шлака наблюдается и при одновременном вводе в

расплав плавикового шпата (CaF_2) оксидов кальция и алюминия CaO и Al_2O_3 . Так, плотность флюса АНФ-8 при 1450 °C составляет 2,9 г/см³. С ростом температуры шлаковой ванны плотность шлаковых расплавов понижается. Наибольшую плотность имеют расплавы оксидных шлаков, плотность которых растет с вводом CaO и Al_2O_3 и падает с вводом SiO_2 . Наибольшее влияние на увеличение плотности шлаковых расплавов на основе CaF_2 оказывают добавки ZrO_2 и Al_2O_3 , а затем TiO_2 , MgO и CaO . При электрошлаковой тигельной плавке отходов черных и цветных металлов и их сплавов плотность исходных шлаков растет наиболее интенсивно по мере накопления жидкого металла в тигле, что требует дополнительной корректировки состава шлака по ходу электрошлакового процесса. Например, дополнительное введение NaF в систему CaF_2 - NaF резко снижает поверхностное натяжение расплава, что обеспечивает большую устойчивость электрошлакового процесса при наборе жидкого металла в тигле.

Шлаки на основе CaF_2 имеют невысокие значения поверхностного натяжения, а повышение межфазного натяжения на границе шлак-металл, достигается благодаря вводу добавок Al_2O_3 , CaO и MgO . что предопределило широкое применение данных шлаковых систем в основе оксидно-солевых флюсов для электрошлаковых технологий сварки, наплавки, переплава. Широкое применение в промышленности нашли серийные флюсы марок: АНФ-6 АНФ-25, АНФ-35, АН-291, АН-295 и др. В данной работе в промышленных условиях переплавляли отходы быстрорежущей стали марки Р6М5 в виде стружки скола в графитовом тигле емкостью 50 кг с использованием фторидного флюса марки АНФ-6 графитовыми электродами $d = 100... 120$ мм с дополнительной газовой защитой шлаковой ванны смесью газов $\text{Ar} + \text{CO}_2$. По ходу электрошлаковой плавки стружку быстрорежущей стали загружали в тигель порциями (россыпью), а для снижения плотности жидкого шлака и снижения поверхностного натяжения периодически в тигель добавляли флюс марки АНФ-1. Фторидные шлаки, обладая повышенной адгезией к неметаллическим включениям - оксидам и нитридам, обеспечивают получение высококачественной литой быстрорежущей стали. Химический состав электрошлаковой литой быстрорежущей стали Р6М5, полученной при электрошлаковой тигельной плавке стружки соответствовал требованием ГОСТ 19265.

Химический состав серого литейного чугуна имеет широкий диапазон допусков по углероду и кремнию. Остальные основные элементы (Mn, Cr, S, P и др.) имеют жесткий допуск и ограничения. По первым двум элементам предпочтительно использование для электрошлаковой тигельной плавки чугуновой стружки кислых флюсов системы SiO_2 - MnO (типа АН-348А и др.), хотя стабильность электрошлакового процесса на данных флюсах пониженная. Главным недостатком использования флюсов этой системы являлось активное насыщение металла, в данном случае чугуна, марганцем. Эксперименты показали практическое удвоение содержания Mn в выплавленном на флюсе АН-348А металле, что является недопустимым. Из этого следует, что при электрошлаковой тигельной плавки чугуновой стружки необходимо переходить на основные флюсы или флюсы с высокой основностью. Использование дорогостоящих флюсов систем CaF_2 ; CaF_2 - Al_2O_3 (АНФ-1; АНФ-6 и др.) экономически нецелесообразно при переплаве относительно дешевых отходов металлов, в том числе и чугуна. При электрошлаковой тигельной плавке отходов литейного чугуна в виде стружки наилучшие результаты были получены после применения флюса системы CaF_2 - SiO_2 - CaO - MgO - CaF_2 - Al_2O_3 (флюс типа АНФ-14). Флюс АНФ-14 был разработан в ИЭС им. Е.О. Патона специально для получения отливок из серого чугуна. Хорошие результаты по химическому составу, производительности были получены нами при электрошлаковой тигельной плавке чугуновой стружки на стандартных флюсах этой же системы марок 48 ОФ-6 и 48 ОФ-10.

Эта сложная система обладает хорошими рафинирующими свойствами, выплавленный чугун не теряет и не насыщается по основным элементам, при этом стоимость флюса данной системы значительно ниже, чем у основных систем флюсов.

При тигельной плавке некомпактных отходов меди и ее сплавов в виде брикетов из отходов проволоки и стружки наиболее целесообразное применение имеет солевой флюс моносистемы CaF_2 (АНФ-1), удовлетворяющий практически всем параметрам электрошлакового процесса тигельной плавки - температурным, рафинирующим и другим свойствам. Накопительный процесс электрошлаковой тигельной плавки в керамический или графитовый тигель с последующим розливом металла в формы требует перегрева металла на 150...200 °С. Флюс АНФ-1 в расплавленном со-

стоянии обладает значительной электропроводимостью, поэтому для достижения перегрева шлаковой ванны требуются увеличенные энергетические затраты, что в конечном итоге оказывается экономически невыгодным. Поэтому используя стандартный флюс CaF_2 - Al_2O_3 типа АНФ-6, можно значительно поднять температуру шлаковой ванны до нужных пределов без форсирования режима электрошлаковой тигельной плавки по току и напряжению. Однако, при этом и у данного флюса имеется некоторый недостаток - высокая вязкость при относительно низких для данного флюса температурах. Для понижения вязкостных свойств флюса, а тем самым для повышения рафинирующих свойств и относительного понижения температуры плавления, целесообразно добавлять в небольших количествах третью составляющую - низкотемпературный активный флюс NaF. При продолжительном процессе накопления в процессе электрошлаковой плавки для компенсации испарения флюса необходимо добавлять составляющие в виде чистых CaF_2 и NaF.

Задача из отходов (стружка) латуни ЛК 63-1 получить бронзу, легированную Al, Fe, Si, Mn, то есть получить сплав с высокой прочностью и упругостью без потери коррозионных свойств в процессе электрошлаковой тигельной плавки решалась следующим образом.

Возможность долегиrowания переплавляемой брикетированной латунной стружки через присадочные материалы и переплав под флюсом системы CaF_2 не выбирали в качестве оптимального ввиду возможных наиболее простых и экономически целесообразных вариантов. Засоренность латунной стружки железом и наличие электротехнического Al не вызывало затруднений в получении сплава с необходимым содержанием (Fe и Al). Долегиrowание сплава Si и Mn было выполнено через оксидные высококремнистые и высокомарганцовистые флюсы типа АН-8 и АН-348А, в которых содержание окислов Si и Mn находится в пределах 35...45%. Хотя процесс электрошлаковой тигельной плавки на этих флюсах с графитовым электродом недостаточно устойчив и шлаковая ванна имеет излишне высокую температуру, были получены слитки с хорошей поверхностью, легированные необходимыми элементами. Для повышения устойчивости электрошлакового процесса тигельной плавки латунной стружки, снижения температуры шлаковой ванны с сохранением возможности подлегиrowания сплава производили также замену оксидного флюса АН-348А на

соле-оксидный флюс марки 48 ОФ-10 с раскислением ванны и подлегированием сплава алюминием в процессе плавки.

Использование данного технологического процесса и наложение постоянного тока от постороннего источника питания при заливке жидкого металла в чугунные кокилы позволило получить плотные слитки с заданными механическими свойствами наряду со стабильным химическим составом выплавляемой бронзы.

Для электрошлаковой тигельной плавки брикетированной алюминиевой стружки наиболее приемлемым для использования является флюс марки АН-А303, состоящий: 50% KCl , 40% $NaCl$, 10% Na_3AlF_6 . При использовании данного легкоплавкого солевого флюса с небольшой плотностью и вязкостью в результате накопления в шлаке в процессе плавки окислов Al_2O_3 возникает необходимость добавки в тигель по ходу плавки свежих порций флюса АН-А303 или в небольших количествах активного флюса из NaF . Тигельная электрошлаковая плавка алюминиевой стружки и мелкоразмерного алюминиевого лома позволяла получать высококачественные вторичные литейные сплавы типа АВ-87.

В ходе проведенных экспериментов и промышленных плавов некомпактных отходов установлено, что при электрошлаковой тигельной плавке стальной, чугунной стружки выход годного достигает 90...95 %, для стружки из цветных металлов выход годного составляет 85...87 %, а для легковесного лома из алюминия и его сплавов достигает 90%. Требуемый при этом расход флюсов на один килограмм выплавляемого металла составляет от 0,1 до 0,2 кг, а расход эклектической энергии от 0,8 до 1,5 кВтч/кг.

Проведенный экономический анализ затрат по электрошлаковой тигельной плавке некомпактных отходов черных и цветных металлов показал, что при достигаемом увеличении выхода годного и повышении качества металла в сравнении с существующими технологиями имеется экономическая эффективность и целесообразность применения данной технологии непосредственно в условиях машиностроительного производства.

Список литературы

1. Гладили Н.М. Использование отходов металлообработки в литейных цехах машиностроительных заводов // Литейное производство. – 1986.- № 12.- С. 9-11.
2. Карякин Г.И. Разработка и применение на Заволжском моторном заводе технологии переплава алюминиевой стружки/ Карякин Г.И. , Кимстач Г.М., Грешищев Б.А.// Литейное производство. -1986.- № 12.-С. 13-15.
3. Гаврилин И.В. Переплав алюминиевой стружки в литейных цехах//Литейное производство. -1998.- № 8.- С. 7-9.
4. Хрунже В.Н., Радченко В.Г., Сушук-Слюсаренко И.И. и др. Установка для электрошлаковой переплавки стружки. АС 414863, 7.04.1972
5. Молодан Г.А. Электрошлаковый переплав стружки высоколегированной стали//Молодан Г.А., Вишневский А.В. , Олейничко В.И. Литейное производство. – 1979.- № 2.- С. 29-30.
6. Фарисов Р.Д. Переплав латунной стружки/ Фарисов Р.Д., Фарисов Т.Д., Сахапов Д.В.// Металлургия машиностроения. – 2004. - № 1. – С. 17-18.
7. Шабалин В.Н. Центробежное электрошлаковое литье стальных фланцев/ Шабалин В.Н., Радченко В.Г., Жеребцов С.И., Еремин В.Н. // Металлургия машиностроения. – 2004. - № 1. – С. 37-38.
8. Жеребцов С.Н. О роли и свойствах флюсов, используемых при ЭШП / Жеребцов С.Н., Галлер В.В., Радченко В.Г., Шабалин В.Н. // 7-ая Международная научно-практическая конференция «Природные интеллектуальные ресурсы Сибири» (Сибиресурс – 7 - 2001). Доклады, Ч. 1. Изд-во Томского ун-та, Томск – 2001. С. 158-161.
9. ГОСТ 30756-2001. Флюсы для электрошлаковых технологий. Общие технические условия. 6 с.
10. ГОСТ Р 52222-2004 Флюсы сварочные плавные для автоматической сварки. Технические условия. 19 с.
11. Потапов Н.Н. Сварочные материалы для дуговой сварки. Справочное пособие: в 2 т. Т.1: Защитные газы и сварочные флюсы / под общ. ред. Потапова Н.Н. – М.: Машиностроение, 1985. – 544 с