

# АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ РАСХОДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ЭШП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛ ИЗО ВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ И ЖИДКОЙ ЛИГАТУРЫ

*И.В. Чуманов, Е.А. Ворона*

Высокая себестоимость металла, получаемого в результате электрошлакового переплава (ЭШП), обусловлена значительными затратами при получении расходуемых электродов, которые составляют 65...85% от общей себестоимости выплавленного слитка. В свою очередь затраты на производство электродов во многом определяются способом их изготовления.

В настоящее время на металлургических заводах применяют четыре способа производства электродов для ЭШП: прокатка на крупносортовых станах, литье на машинах непрерывного литья заготовки, литье в специальные изложницы и ковка на молотах. Преобладающим способом изготовления электродов для ЭШП является их прокатка. В последнее время все большее распространение получает отливка электродов на МНЛЗ (УПНРС или МПНЛЗ) и в специальные изложницы, в т. ч. керамические. Указанные способы существенно отличаются между собой своими техническими возможностями и уровнем экономических показателей.

Литые электроды имеют наименьшую себестоимость. Причем для относительно дешевых марок наименьшие текущие затраты, несмотря на сравнительно больший расход металла, чем при отливке на МНЛЗ, обеспечивает разливка электродов в специальные изложницы. Это связано более низкими расходами по переделу, чем при отливке на МНЛЗ.

Наибольшую себестоимость имеют кованные электроды, что объясняется самыми высокими (по сравнению с другими способами) расходами по переделу в кузнечных цехах. Наименьших удельных капитальных затрат требует отливка электродов в специальные изложницы (в среднем на 30...35 % ниже, чем для катаных), далее идет разливка на МНЛЗ, затем прокатка и ковка.

В представленной таблице показаны средние затраты на производство расходуемых электродов разными по разным технологиям, в процентном соотношении. Как видно, наименьшие затраты отмечаются при отливке электродов в специальные изложницы, для более дорогих марок сталей - предпочтительна разливка на МНЛЗ. Однако следует заметить, что в реальных производственных условиях технико-экономические показатели отливки электродов на МНЛЗ несколько хуже приведенных в таблице.

Электроды больших сечений, диаметром 500 мм и более, практически невозможно изготавливать методом прокатки. Поэтому основным способом изготовления расходуемых электродов больших размеров могут быть лишь разливка на МНЛЗ и в специализированные изложницы [1].

С экономической точки зрения, перспективным является дальнейшее развитие способов получения расходуемых электродов методом литья в специальные изложницы. Использование металлизированных окатышей (с их преимуществами первородного сырья) в этом случае еще в большей степени позволит снизить себестоимость конечной металлопродукции.

Одним из путей снижения себестоимости электрошлакового металла является формирование расходуемых электродов с использованием металлизированных окатышей (МО). Это исключает из технологической схемы производства металла ЭШП такие трудоемкие операции по изготовлению электродов, как ковка и прокатка.

На основании проведенного анализа преимуществ и недостатков различных технологических вариантов осуществления процесса ЭШП МО были разработаны следующие варианты получения расходуемых электродов с использованием МО для последующего электрошлакового переплава.

Приведенные затраты в изготовлении расходуемых электродов, %

Вид электродов	Марка стали					
	ШХ15	38ХМЮА	40ХНМА	12Х2Н4А	ЭИ961	Х18Н10Т
Катаные	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Кованные	120,40	115,02	113,33	109,96	107,81	105,51
Литые в специализированные изложницы	80,40	82,33	83,14	85,85	87,71	90,84
Литые на МНЛЗ (УПНРС)	83,50	83,39	84,57	87,18	87,92	90,62

\* Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ МД-2610.2008.8.

1. Пропитка окатышей в металлической оболочке погружением в жидкую лигатуру.

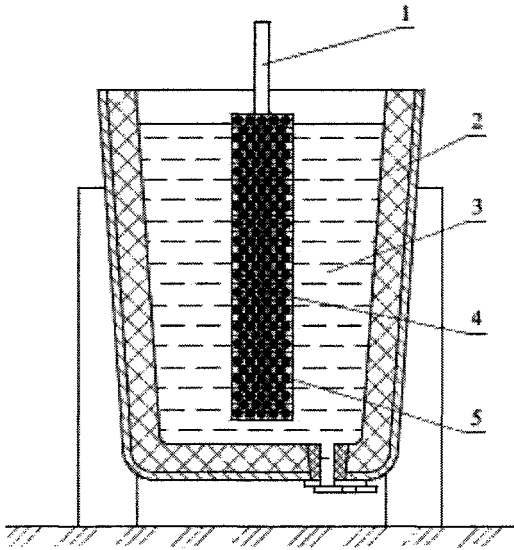
Металлизированные окатыши первоначально подаются в стальную оболочку, выполненную в виде металлической сетки с диаметром ячейки, меньшим диаметра МО. Сформированный таким образом расходоуемый электрод подогревают и погружают в жидкий расплав (рисунок, а) [2]. Полученный по данной технологической схеме электрод обладает достаточно равномерным распределением металлизированных окатышей по сечению и плотной их упаковкой.

Недостатком данного способа является, сложность прогнозирования химического состава гото-

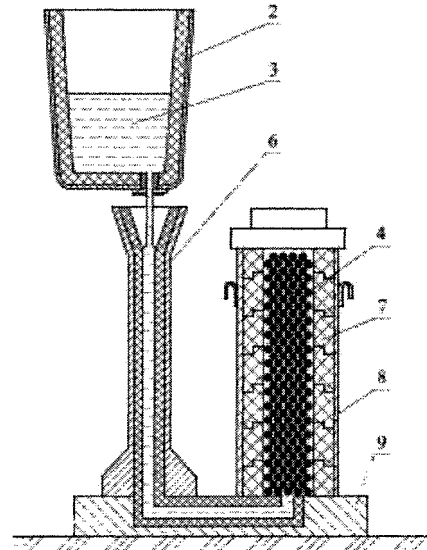
вого слитка ЭШП, а также невозможность получения расходоуемых электродов диаметром более чем 200 мм, ввиду их недостаточной механической прочности.

2. Пропитка окатышей методом сифонной подачи лигатуры.

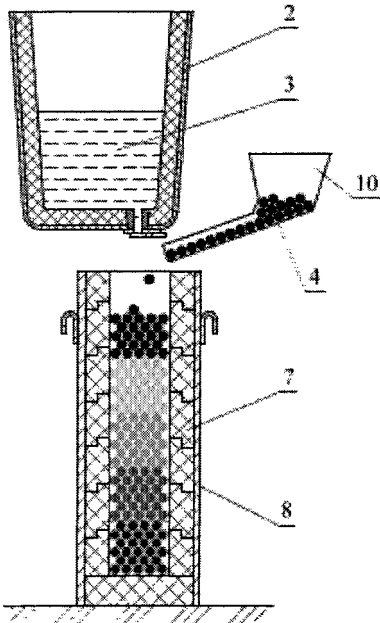
Подогретые металлизированные окатыши предварительно подаются в специзложницу и пропитываются лигатурой, подаваемой снизу под давлением. В качестве специзложницы используются сифонные трубки, изготовленные с использованием отработанного флюса процесса ЭШП МО, набранные по типу центровой в металлическом кожухе (рисунок, б) [3].



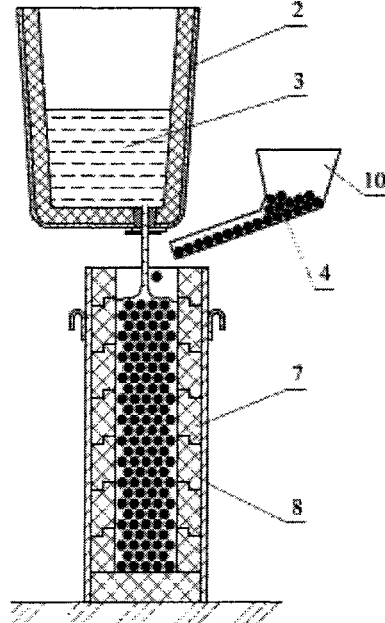
а)



б)



в)



г)

Способы получения расходоуемых электродов для ЭШП с использованием металлизированных окатышей и жидкой лигатуры: 1 - инвентарная головка; 2 - промежуточный ковш; 3 - жидкая лигатура; 4 - металлизированные окатыши; 5 - формообразующая сетка; 6 - литниковая система; 7 - керамическая изложница; 8 - металлический кожух; 9 - поддон; 10 - дозирующее устройство

Предварительная засыпка подогретых МО в изложницу и подача снизу жидкого металла под давлением позволяет добиться более равномерного распределения окатышей в объеме металлической матрицы. Использование жидкого металла в качестве жидкой металлической составляющей, позволяет обеспечить заданный химический состав получаемого расходоуемого электрода, а также является основным связующим веществом. Подача жидкого металла под давлением, обеспечивает полное заполнение изложницы металлом на заданную высоту.

Недостатком данного способа является то, что предварительный подогрев МО ( $=800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) приводит к их вторичному окислению, что весьма негативно сказывается при последующем электрошлаковом переплаве. Подача жидкого металла снизу в изложницу под давлением приводит к выдавливанию верхних слоев МО и требует наличие сверху специальных приспособлений. Наконец, отметим достаточно высокий расход лигатуры, что весьма значимо при производстве средне- и высоколегированных марок сталей.

3. Порционная подача окатышей и лигатуры в специзложницу.

Предварительно подогретые МО подаются в специзложницу одновременно с жидким металлом порциями (рисунок, в) [4].

Использование в процессе заливки расходоуемого электрода порционной подачи МО вместе с жидким металлом, в зависимости от насыпной массы МО, позволяет обеспечить более равномерное распределение окатышей в объеме расходоуемого электрода и снизить температуру их предварительного подогрева.

К недостаткам данного способа можно отнести то, что подача составляющих порциями приводит к значительному увеличению времени, затрачиваемого на получение готового расходоуемого электрода, что отрицательно сказывается на технико-экономических показателях.

4. Одновременная подача окатышей и лигатуры в специзложницу.

Предварительно подогретые металлизированные окатыши подаются в специзложницу одновременно с лигатурой в определенном соотношении и с определенной скоростью (рисунок, г) [5].

При получении расходоуемых электродов по предлагаемому способу, необходимо с достаточной точностью определить соотношение металлизированных окатышей и жидкой лигатуры, а также их скорости одновременной подачи, для обеспечения равномерного распределения компонентов по сечению и химической однородности слитка.

На основании проведенного анализа различных способов получения расходоуемых электродов можно сделать вывод, что наиболее предпочтительным является способ одновременной подачи окатышей и лигатуры в специзложницу (способ № 4).

Для осуществления данного способа была

разработана математическая модель теплофизических процессов, протекающих в элементарной ячейке «металлизированный окатыш - расплав» [6].

При разработке математической модели исходили из следующих предпосылок:

1. Теплофизические параметры окатыша: теплопроводность, теплоемкость, плотность на протяжении всего процесса, остаются величинами постоянными.

2. Геометрической формой окатышей является сферическое тело.

3. Диффузией расплава в поры скелета в начале погружения МО в расплав жидкого металла следует пренебречь.

4. Поток тепла, обусловленный теплопроводностью скелета МО твердой корки, в расплаве определяет теплообмен между этими средами.

5. Каждый МО в расплаве окружает сферическое тело, заполненное жидким расплавом металла, с центром, совпадающим с центром окатыша, т. е. образуется многослойная ячейка правильной формы.

С помощью математической модели теплофизических процессов ячейки «металлизированный окатыш - расплав» были определены следующие технологические параметры формирования расходоуемого электрода для электрошлакового переплава, с использованием МО:

а) температура жидкого расплава  $1640..1660\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  
б) температура предварительного подогрева МО  $200..500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

в) соотношение МО и жидкого расплава от 1,5; 1,0 до 2,5; 1,0;

г) скорость совместной подачи МО и жидкого металла соответственно 3...5 кг/с и 1...2 кг/с.

В работе [7], изучены опытные отливки: определен химический состав, металлической и оксидной составляющей окатыша, лигатуры, металла пограничной зоны и неметаллических включений, где предварительный анализ качества полученного электрода показал хорошую пропитку и удовлетворительную поверхность наряду с достаточной механической прочностью.

### **Литература**

1. Иванов, И.Н. Экономика производства расходоуемых электродов для электрошлакового переплава / И.Н. Иванов, Л.Ф. Воробьева, Г.В. Бергауз // Проблемы спецэлектрометаллургии. - 1976. - № 4. - С. 69-71.

2. Пат. № 2297462 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> С22В 9/18. Способ получения расходоуемых электродов / В.И. Чуманов, В.И. Потапов, ИВ. Чуманов, В.В. Вотинков. - № 2005131403, заявл. 10.10.2005; опубл. 20.04.2007, Бюл. №11.

3. Пат. № 2260065 Российская федерация, МПК<sup>7</sup>. С22В 9/18. Способ получения расходоуемых электродов / В.И. Чуманов, И.В. Чуманов, В.В. Вотинков, Д.А. Пятагин. - № 2004129609, заявл. 08.10.2004; опубл. 10.09.2006, Бюл. №25.

4. Пат. № 2314355 Российская федерация, МПК<sup>7</sup>. С22В 9/18. Способ получения расходуемых электродов / И.В. Чуманов, Д.А. Пятыгин, Е.А. Ворона, В.И. Чуманов. - № 2006137501, заявл. 23.10.2006; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1.

5. Пат. № 2233895 Российская федерация, МПК<sup>7</sup>. С22В 9/18. Способ получения расходуемых электродов / В.И. Чуманов, И.В. Чуманов, Д.А. Пятыгин, В.В. Вотинов. - № 2003108193, заявл. 24.03.2003; опубл. 10.08.2004, Бюл. №22.

6. Ворона, Е.А. Теплофизические процессы, протекающие при формировании расходуемого

электрода для ЭШП с использованием металлизированных окатышей / Е.А. Ворона, И.В. Чуманов, В.И. Потапов // Современные проблемы электрометаллургии стали: материалы XIII Международной конф. - Челябинск: ЮУрГУ, 2007. — С. 95-96.

7. Чуманов, И.В. К вопросу получения расходуемых электродов для электрошлакового переплава с использованием металлизированных окатышей / И.В. Чуманов, Д.А. Пятыгин, Е.А. Ворона // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». — 2008. — Вып. 10. -№9(109). - С. 14-15.