

УДК 621.365:669.166

В.С. Куцин, В.И. Ольшанский, И.Ю. Филиппов,  
И.Г. Кучер, Ю.Б. Дедов, В.Г. Ганоцкий

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ВАННЫ РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

*Результати дослідження виділених зон в руднотермічній електропечі дозволили оцінити особливості її роботи при виплавці різних сплавів, розробити для кожного сплаву оптимальні технологічні режими роботи печі з метою одержання кращих техніко-економічних показників, а також спрогнозувати профілактичні міри по ліквідації відхилень від аварійних ситуацій.*

*Електропеч, шихта, зона, гарнісаж, електрод, феросплав, зона кінцевого шлаку, марганець, процес.*

*Результаты исследований выделенных зон в руднотермической электропечи позволили оценить особенности её работы при выплавке различных сплавов, разработать для каждого сплава оптимальные технологические режимы работы печи с целью получения лучших технико-экономических показателей, а также спрогнозировать профилактические меры по ликвидации отклонений от аварийных ситуаций.*

*Электропечь, шихта, зона, гарнисаж, электрод, ферросплав, зона конечного шлака, марганец, процесс.*

*The research results highlighted areas in the ore-smelting furnaces to evaluate the features of its work in the smelting of various alloys developed for each alloy optimal research results highlighted areas in the ore-smelting furnaces allow to evaluate the features of her work in the smelting of various alloys developed for each alloy optimal technological modes of operation of the furnace for the purpose of obtain the best technical and economic indicators, as well as to predict the preventive measures to eliminate deviations from emergencies*

*Electric furnace, charge, area, skull, electrode, ferroalloys, the final slag zone, manganese process.*

В процессе эксплуатации рудовосстановительных электропечей (РВП) на ПАО «Никопольский завод ферросплавов» разработана модель строения ванны печи для выплавки марганцевых ферросплавов. Эта модель позволяет установить особенности работы печи, разработать оптимальные технологические режимы с целью достижения наилучших технико-экономических показателей, а также определить профилактические меры предупреждения и ликвидации аварийных ситуаций.

Содержимое ванны печи (рис. 1) условно было разделено на несколько основных зон: зона неподвижной шихты (ЗНШ), зона рыхлой шихты (ЗРШ), зона первичного шлака (ЗПШ), зона коксового слоя (ЗКС), зона конечного шлака (ЗКШ) и зона металла (ЗМ).

Протяженность и расположение этих зон в печи на одном и том же сплаве могут быть различны даже в зоне соседних электродов и зависят, в основном, от мощности на электроде, состава выплавляемого сплава и величины заглубления электрода в шихту (посадки электрода). Зоны ЗРШ, ЗПШ, ЗКС, ЗКШ составляют приэлектродную зону ЗПЭ, проекция которой на подину соответствует площади реакционной зоны электрода  $S_{pзэ}$  [1].

С внешней стороны кожуха электрода  $S_{pзэ}$  ограничена гарнисажем, расстояние которого до боковой поверхности электрода (по горизонтали)

определяется величиной  $\delta_{гр}$  (рис. 1) и может быть определена как минимальная величина «а» [2] до боковой стенки печи.

Приэлектродная и подэлектродная зоны вместе образуют объём реакционной зоны  $V_T$  [1]. Размеры  $S_{раз}$  и  $V_T$  зависят от диаметра электрода, глубины его погружения и мощности на нём и состава выплавляемого сплава.

Как правило, на нормально работающей РВП, приэлектродные и подэлектродные зоны разобщены и соединяются зоной металла. Зоны коксового слоя соседних электродов, разделяющие ЗПШ и ЗКШ, могут иметь различное положение по высоте и толщине [3].

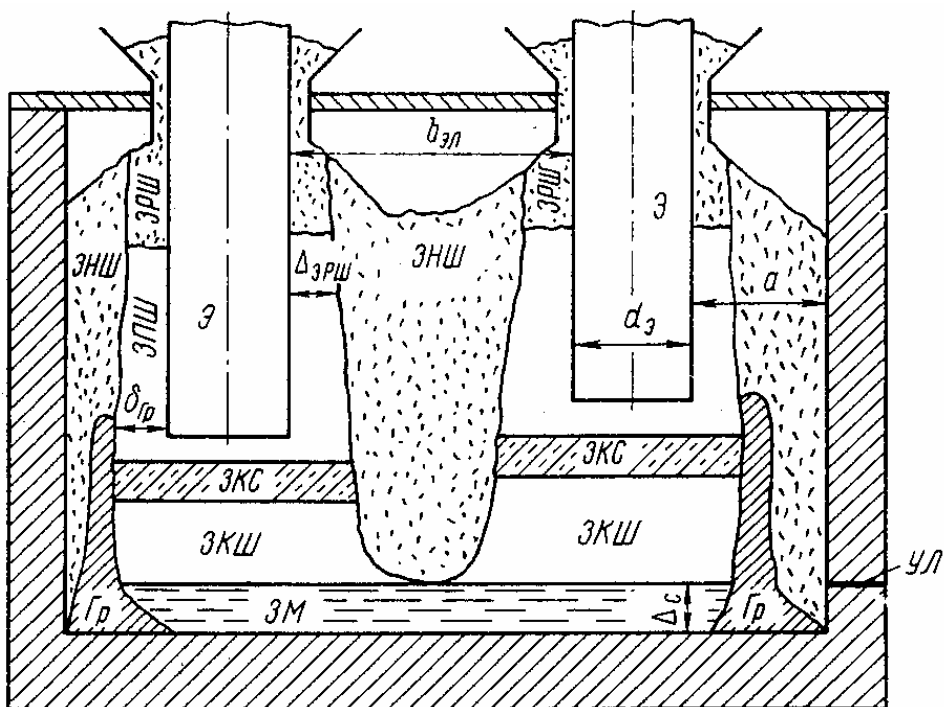


Рисунок 1 – Схема основных зон ванны РВП:

- э – электрод; а – расстояние от электрода до стенки ванны; бэл – расстояние в «свету» между электродами; Δс – толщина буферного слоя металла на подине;
- Гр – гарнисаж; δгр – расстояние от гарнисажа до электрода;
- УЛ – уровень лётки; остальные обозначения в тексте

Размеры зоны рыхлой шихты по ширине и высоте зависят от мощности на электроде, типа выплавляемого сплава и способа загрузки шихты в печь, то есть непосредственно к электродам через воронку (рис 2, а) или в сторону от него через загрузочные трубы (рис. 2, б).

Установлено, что для электропечей выплавляющих высокоуглеродистый ферромарганец и ферросиликомарганец при мощности на электроде 7-9 МВт зона рыхлой шихты находится в пределах 0,4-0,8 и 0,8-1,4 метра соответственно. При этом скорость схода шихты у электродов неравномерна во времени и от выпуска до выпуска расплава имеет иногда характер обвалов, сопровождающихся резкими изменениями электрического (падение токовых нагрузок) и газового (повышение давления под сводом) режимов, что явно проявляется во время выпуска расплава. При этом, чем больше скорость схода шихты, тем сильнее её обвалы и сопровождающие их отрицательные эффекты. Это накладывает дополнительные ограничения на условия производства ферросплава и повышает требования к качеству шихтовых материалов. Характер схода шихты существенно зависит от способа загрузки её в печь (рис. 2).

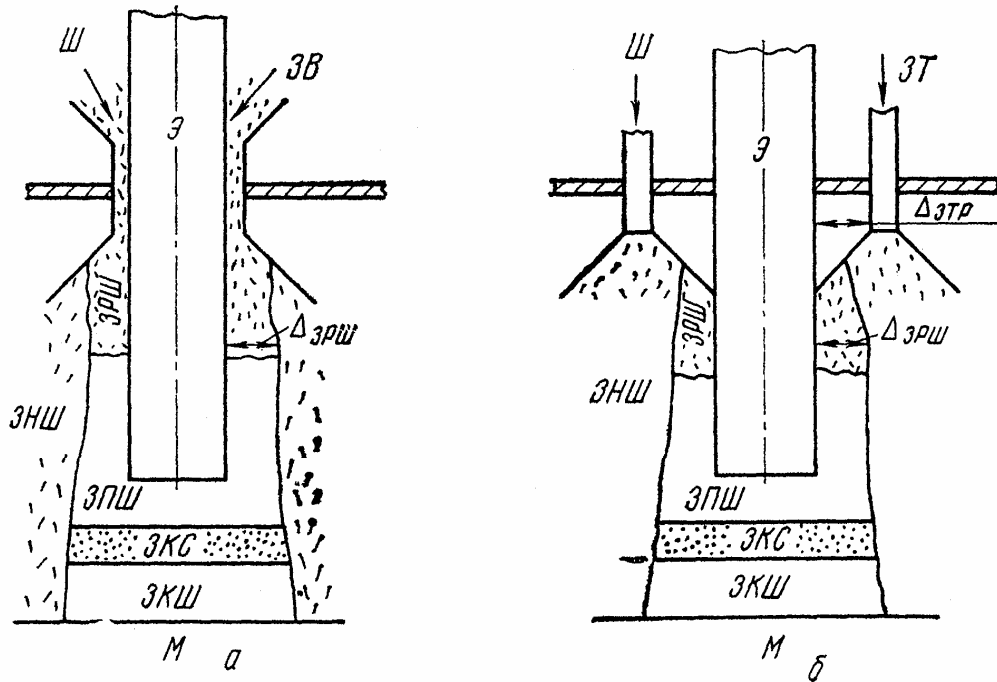


Рисунок 2 – Формирование зоны рыхлой шихты (ЗРШ) при загрузке шихты через воронку вокруг электрода (а) и через загрузочные трубы (б) в герметичных печах

Зона первичного шлака (ЗПШ) начинается с момента появления первых порций расплава самой легкоплавкой составляющей шихты. Снизу ЗПШ ограничена коксовым слоем, протяженность которой по высоте зависит от заглубления электрода в шихту, а материал её представляет собой расплав типа магмы с внедрёнными частицами шихтовых материалов, кокса, шлака и металла. Количество и величина частиц металла увеличивается к нижней части зоны, а цвет материала её меняется от чёрного в верхней части до зелёного и светлозелёного в средней и нижней частях соответственно. Химический состав меняется сверху вниз следующим образом (рис. 3).

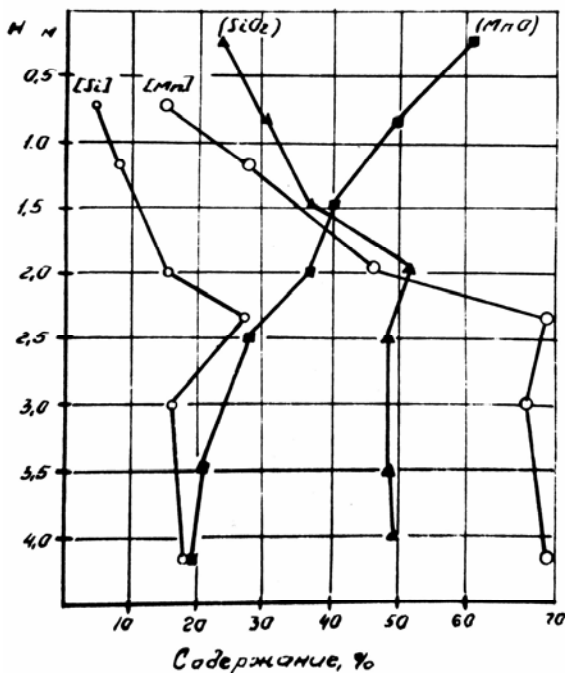


Рисунок 3 – Изменение химического состава шлака (MnO, SiO<sub>2</sub>) и металла ([Mn], [Si]) и кинетика восстановления марганца и кремния по глубине ванны печи РПЗ-63 при выплавке товарного ферросиликомарганца

Магма (первичный шлак) постепенно обедняется марганцем и кремнезёмом, хотя убыль  $MnO$  и  $SiO_2$  постоянно пополняется за счёт подплавления новых порций шихты и расширением зоны, а количество металла и содержание  $Mn$  и  $Si$  в нём увеличивается [4]. Таким образом, зона первичного шлака является очень важной в технологическом отношении, в которой происходят основные процессы восстановления, образования металла и формирования шлака.

Коксовый слой (ЗКС) при нормальной работе печи расположен ниже конца рабочего электрода на 150-350 мм. Шлак в этой зоне по цвету и химсоставу близок к конечному. К этому моменту процессы восстановления практически завершились и коксовый слой образуется за счёт непрореагировавшего в ЗКС кокса и его количества в этой зоне. Толщина коксового слоя может характеризовать полноту протекания процессов восстановления. Чем толще слой тем менее эффективно работает печь.

Зона конечного шлака ограничена (рис. 1) сверху коксовым слоем, снизу металлом, с боков нерасплавленной шихтой и гарнисажем, а металла – с периферии гарнисажем или футеровкой боковых стен ванны. При нормальной работе печи металлическая ванна соединяет все подэлектродные зоны, как бы они не были удалены друг от друга.

Размеры металлической ванны, т.е. положение гарнисажа и толщина буферного слоя металла ( $\Delta_c$ ) на подине, очень важны для повышения стойкости футеровки подины ванны. На стойкость ванны существенно влияет щадящий режим разогрева новых печей.

Зона неподвижной шихты (ЗНШ) является самой обширной. Назвать эту зону неподвижной можно лишь условно, так как обмен шихты в ней происходит, но крайне медленно. Установлено, что ЗНШ играет в шлаковых процессах роль шлакоприёмника, в котором шихта выполняет роль дренажного слоя.

### ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили объяснить протекающие в печи процессы применительно к производству марганцевых ферросплавов в мощных руднотермических электропечах, а также установить и предотвратить возможные причины отклонения от их нормальной работы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Струнский Б.М. Руднотермические плавильные печи. М.: Металлургия, 1972.
2. Зубанов В.Т., Величко Б.Ф., Ткач Г.Д. и др. // Сталь.-1986.-№1-С.48-50.
3. Карманов Э.С., Величко Б.Ф. Модель строения ванны рудовосстановительной печи. //Сталь.-1984.-№9.-С40-42.
4. Физико-химические превращения шихтовых материалов в промышленной электропечи РПЗ-6З, выплавляющей ферросиликомарганец. /М.И. Гасик, И.Г. Кучер, Б.Ф. Величко, Г.Д. Ткач. //Сталь.-1983.№9,С.41-43.