

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"  
(ДГТУ)

Кафедра "Материаловедение и технологии металлов"

**ПОЛНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПЛАВКИ (ДСП –  
СКРАП-ПРОЦЕСС). ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ШЛАКА И  
УСТАНОВЛЕНИЕ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА. МАТЕРИАЛЬНЫЙ  
БАЛАНС ПЕРИОДОВ ПЛАВКИ**

Методические указания

Ростов-на-Дону  
ДГТУ  
2023

## 1. Цель работы

Научить обучающихся делать полный технологический расчёт плавки (ДСП – скрап-процесс). Определение количества шлака и установление шлакового режима. Материальный баланс периодов плавки.

## 2. Общие сведения

*В окислительный период*  $\tau_{ок.}$  из металла удаляют фосфор, газы, происходит подогрев, выравниваются температура и состав металла по всему объёму. Для удаления газов в жидкой ванне окисляют углерод, который образует пузырьки монооксида углерода. Растворимые в металле водород и азот диффундируют в пузырьки монооксида углерода и вместе с ними выносятся наружу. Этот процесс способствует кипению (барботажу) ванны, ускоряя её подогрев и выравнивание в ней температуры. В ДСП с основной футеровкой находящийся в металле фосфор окисляется до фосфорного ангидрида, который всплывает в шлак. Для связывания фосфорного ангидрида с оксидом кальция в прочное соединение необходимо иметь высокоосновный жидкоподвижный шлак, который наводят, задавая в печь известь. Удаление из металла фосфора идёт лучше, если металл не перегрет и в нём имеется достаточное количество кислорода. Кислород вводится в жидкую ванну либо в газообразном виде, либо с железной рудой. Для лучшего удаления фосфора из металла значительная часть шлака при проведении окислительного периода удаляется из печи самотёком или скачиванием. Для обеспечения нормального процесса дегазации и дефосфорации металла достаточно из него удалить 0,3 – 0,5% С. Продолжительность окислительного периода может быть сокращена за счёт частичного удаления фосфора в конце периода расплавления. Заканчивается окислительный период скачиванием из печи шлака начисто. Кратность шлака окислительного периода  $K_{шл. ок.}$  составляет 2 – 4% массы металла.

*Восстановительный период*  $\tau_{восс.}$  начинается с момента наведения нового шлака на зеркале металла. В ДСП с основной футеровкой наводят основной шлак из свежесожжённой извести с использованием в качестве разжижителя плавикового шпата и шамотного боя. В этот период из металла удаляют кислород, серу, корректируют химический состав жидкого металла и подогревают его. Раскисляют металл диффузионным способом через шлак (для этого на шлак подаётся порошок кокса и ферросилиция) и глубинным методом (в металл вводят ферросилиций в кусках). Окончательное раскисление проводят введением в жидкую ванну алюминия на штанге. Для легирования стали в металл вводят такие добавки, как

феррохром, ферромарганец, ферросилиций, ферровольфрам, ферротитан. Продолжительность восстановительного периода в печи зависит от сортамента выплавляемых сталей и вместимости печи. Кратность шлака восстановительного периода ( $K_{\text{шл. восст.}}$ ) составляет 3 – 6% массы металла. При классической технологии выплавки стали в дуговой печи приходится работать с двумя – тремя шлаками разного химического состава. При этом нужно понимать, что суть диффузионного раскисления, протекающего в течение всего периода, заключается в следующем. Так как раскисляющие вещества применяют в порошкообразном виде, плотность их невелика, и они очень медленно опускаются через слой шлака. В шлаке протекают следующие реакции раскисления:  $(\text{FeO}) + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$ ;  $2(\text{FeO}) + \text{Si} = 2\text{Fe} + (\text{SiO}_2)$  и т.д., в результате содержание FeO в шлаке уменьшается и в соответствии с законом распределения  $\frac{(\text{FeO})}{[\text{FeO}]} = \text{const}$  кислород (в виде FeO) начинает путём диффузии переходить из металла в шлак (диффузионное раскисление). Преимущество диффузионного раскисления заключается в том, что поскольку реакции раскисления идут в шлаке, выплавляемая сталь не загрязняется продуктами раскисления – образующимися окислами. Это способствует получению стали с пониженным содержанием неметаллических включений.

По мере диффузионного раскисления постепенно уменьшается содержание FeO в шлаке, и пробы застывшего шлака светлеют, а затем становятся почти белыми. Белый шлак конца восстановительного периода электроплавки имеет следующий состав, %: 53–60 CaO; 15–25 SiO<sub>2</sub>; 7–15 MgO; 5–8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 5–10 CaF<sub>2</sub>; 0,8–1,5 CaS; < 0,5 FeO; < 0,5 MnO.

В высокомоощных дуговых печах получила развитие тенденция сокращения окислительного и восстановительного периодов плавки в печи с вынесением выполнения задач этих периодов в ковш. При этом в печи проводится в основном удаление фосфора, процесс плавки идёт с одним шлаком, длительность плавки составляет 1,5–2,0 ч.

В табл. 1 представлены показатели ДСП высокой мощности, по нормам Гипромеца, применительно к печам с кирпичной футеровкой стен и свода. По мере повышения удельной мощности печей, использования водоохлаждаемых элементов кладки стен и свода, обработки жидкого металла в ковше, производительность высокомоощных ДСП значительно возросла. Это нашло отражение в нормах для высокомоощных ДСП вместимостью 50, 100 и 150 т.

## Показатели ДСП высокой мощности

|   |       |       |        |
|---|-------|-------|--------|
| Вместимость печи, т                                   | 50    | 100   | 150    |
| Мощность трансформатора, кВ·А                         | 50000 | 80000 | 100000 |
| Общая продолжительность плавки, ч-мин                 | 1-25  | 1-30  | 1-40   |
| В том числе продолжительность периодов плавки, ч-мин: |       |       |        |
| Заправка  | 0-03  | 0-03  | 0-03   |
| Загрузка 1-й корзины                                  | 0-03  | 0-03  | 0-03   |
| Замена и перепуск электродов                          | 0-04  | 0-04  | 0-04   |
| Плавление 1-й корзины                                 | 0-20  | 0-20  | 0-20   |
| Загрузка 2-й корзины                                  | 0-05  | 0-05  | 0-06   |
| Доплавление   | 0-25  | 0-30  | 0-35   |
| Контроль и доводка металла                            | 0-20  | 0-20  | 0-20   |
| Выпуск  | 0-05  | 0-05  | 0-06   |
| Годовая производительность при выплавке стали, тыс.т. | 270   | 500   | 650    |

*Примечания:* 1. Заправку и торкретирование длительною 30-40 мин производят через 8-12 плавков, что составляет в среднем 3-4 мин на плавку. 2. Перепуск электродов производят при отвернутом своде во время загрузки шихты в печь.

### 3. Порядок и пример выполнения работы

#### 1. Расчёт материального баланса

Материальный баланс плавки в дуговой печи записывается в следующем виде:

$$M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 = M_6 + M_7 + M_8 + M_9 + M_{10}, \quad (1)$$

где  $M_1$  – расход передельного чугуна;

$M_2$  – расход металлического лома;

$M_3$  – расход извести свежееобожжённой;

$M_4$  – количество футеровки, перешедшей в шлак;

$M_5$  – расход технического кислорода;

$M_6$  – количество получаемой жидкой стали;

$M_7$  – количество образующегося шлака;

$M_8$  – количество выделяющихся газов;

$M_9$  – потери металла с пылью;

$M_{10}$  – потери металла с выносами и выбросами.

Расчёт материального баланса ведётся на 1 т металлошихты. Расход передельного чугуна составляет 17%, или 170 кг/т металлошихты. Расход металлического лома составляет 83%, или 830 кг/т металлошихты. Количество футеровки, перешедшей в шлак, 3 кг/т металлошихты.

В табл. 2 отражается средний состав шихтовых материалов, количество удалённых примесей, состав металла перед выпуском. Данные о составе различных материалов, участвующих в шлакообразовании, приведены в табл. 3.

Таблица 2

Изменение состава при выплавке стали

| Компоненты<br>шихты                           | Содержание примесей, % |           |           |           |            |                |         |         |        |        | Другие<br>элементы   |
|---|------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|----------------|---------|---------|--------|--------|----------------------|
|   | C                      | Si        | Mn        | Cr        | Mo         | Al             | S       | P       | Ni     | Cu     |                      |
| Состав стали<br>22ХГ2А по<br>ГОСТ 53366–2009  | 0,20–0,24              | 0,20–0,35 | 1,35–1,55 | 0,80–1,05 | 0,070–0,10 | Не менее 0,015 | 0,010   | 0,015   | 0,2    | 0,30   | Sn≤0,022             |
| Чугун<br>передельный П2<br>по ГОСТ 805–95     | 4,55                   | 0,7       | 0,8       | –         | –          | –              | 0,04    | 0,04    | –      | –      | –                    |
| Металлолом<br>категории 3А по<br>ГОСТ 2787–75 | 0,2                    | 0,26      | 0,65      | 0,02      | –          | –              | 0,035   | 0,035   | 0,02   | 0,02   | –                    |
| Средний состав<br>шихты                       | 0,9395                 | 0,3348    | 0,6755    | –         | –          | –              | 0,03585 | 0,03585 | –      | –      | –                    |
| Состав стали<br>перед выпуском                | 0,070                  | 0,0058    | 0,210     | 0,140     | –          | –              | 0,045   | 0,013   | 0,110  | 0,210  | Sn≤0,01;<br>As≤0,007 |
| Окислилось<br>примесей                        | 0,8695                 | 0,329     | 0,4655    | 0,0166    | –          | –              | 0,00915 | 0,02285 | 0,0166 | 0,0166 | –                    |

Состав различных материалов, принимающих участие в шлакообразовании

|                          | Состав, % |                  |                                |     |     |                 |                  |                                |                               |
|--------------------------|-----------|------------------|--------------------------------|-----|-----|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                          | CaO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | S   | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
| Известь свежееобожжённая | 92        | 2,5              | 1,0                            | 3,3 | 0,1 | 0,2             | 0,2              | 0,6                            | 0,1                           |
| Футеровка ДСП            | 2,0       | 1,6              | 0,3                            | 95  | –   | –               | –                | –                              | –                             |
| Загрязнения лома         | –         | 65               | 35                             | –   | –   | –               | –                | –                              | –                             |

## 2. Расчёт среднего состава шихты.

Средний состав рассчитывается по уравнению

$$C_i^{\text{CP}} = C_i^{\text{Чуг}} \cdot (1 - d) + C_i^{\text{Лом}} \cdot d, \quad (2)$$

где  $C_i^{\text{CP}}$ ,  $C_i^{\text{Чуг}}$ ,  $C_i^{\text{Лом}}$  – средняя массовая доля  $i$ -го компонента, а также его массовая доля в чугуне и в ломе, %;  $d$  – доля лома в металлической части шихты.

$$C_c^{\text{CP}} = 4,55 \cdot (1 - 0,83) + 0,2 \cdot 0,83 = 0,9395;$$

$$C_{\text{Si}}^{\text{CP}} = 0,7 \cdot (1 - 0,83) + 0,26 \cdot 0,83 = 0,3348;$$

$$C_{\text{Mn}}^{\text{CP}} = 0,8 \cdot (1 - 0,83) + 0,65 \cdot 0,83 = 0,6755;$$

$$C_{\text{Cr}}^{\text{CP}} = 0,02 \cdot 0,83 = 0,0166;$$

$$C_s^{\text{CP}} = 0,04 \cdot (1 - 0,83) + 0,035 \cdot 0,83 = 0,03585;$$

$$C_p^{\text{CP}} = 0,04 \cdot (1 - 0,83) + 0,035 \cdot 0,83 = 0,03585.$$

## 3. Определение расхода извести свежееобожжённой.

Известь свежееобожжённая вводится в шихту плавки в дуговую печь с целью получения шлака необходимой основности:

$$B = \frac{(CaO)}{(SiO_2)}. \quad (3)$$

Источниками оксида кальция являются: известь свежееобожжённая ( $I_3$ ) и материал футеровки печи ( $I_4$ ).

Источниками оксида кремния являются:

- окисляющийся кремний чугуна и лома ( $K_{1,2}$ );
- кремнезём загрязнений металлического лома ( $K_2$ );
- кремнезём, содержащийся в извести свежееобожжённой ( $K_3$ );
- кремнезём материала футеровки печи ( $K_4$ ).

Поступит кремнезема из шихты за счёт окисления кремния:

$$K_{1,2} = \frac{M_1[Si]_1}{100} \cdot \frac{60}{28} + \frac{M_2[Si]_2}{100} \cdot \frac{60}{28} = \frac{2,14}{100} \cdot (M_1 \cdot [Si]_1 + M_2 \cdot [Si]_2); \quad (4)$$

$$K_{1,2} = \frac{2,14}{100} \cdot (170 \cdot 0,7 + 830 \cdot 0,26) = 7,16 \text{ кг.}$$

Кремнезём загрязнений металлического лома:

$$K_2 = \frac{m \cdot (M_1 + M_2)}{10^4} \cdot (SiO_2)_2, \quad (5)$$

где  $m$  – количество мусора в ломе, 1%;  $(SiO_2)_2$  – количество кремнезёма в мусоре, 65%.

$$K_2 = \frac{1 \cdot 1000}{10000} \cdot 65 = 6,5 \text{ кг.}$$

Кремнезём, содержащийся в извести свежееобожжённой:

$$K_3 = \frac{M_3}{100} \cdot (SiO_2)_3, \quad (6)$$

где  $(SiO_2)_3$  – массовая доля оксида кремния в извести свежееобожжённой, 2,5 %.  $K_3 = 0,025 \cdot M_3$ .

Кремнезём материала футеровки:

$$K_4 = \frac{M_4}{100} \cdot (SiO_2)_4, \quad (7)$$

где  $(SiO_2)_4$  – массовая доля оксида кремния в материале футеровки, 1,6%.

$$K_4 = \frac{3}{100} \cdot 1,6 = 0,048 \text{ кг.}$$

Поступит оксида кальция из извести свежееобожжённой:

$$И_3 = \frac{M_3}{100} \cdot (CaO)_3, \quad (8)$$

где  $(CaO)_3$  – массовая доля оксида кальция в извести свежееобожжённой, 92%.

$$И_3 = 0,92 \cdot M_3$$

Поступит оксида кальция из материала футеровки:

$$И_4 = \frac{M_4}{100} \cdot (CaO)_4, \quad (9)$$

где  $(CaO)_4$  – массовая доля оксида кальция в материале футеровки, 2%.

Основность шлака принимаем равной 2,5:

$$B = \frac{И_3 + И_4}{K_{1,2} + K_2 + K_4 + K_3} = 2,5; \quad (10)$$

$$B = \frac{0,92 \cdot M_3 + 0,06}{7,16 + 6,5 + 0,048 + 0,025 \cdot M_3} = 2,5.$$

Отсюда расход извести свежееобожжённой:

$$И_3 = 39,89 \text{ кг.}$$

#### 4. Определение количества шлака.

Источниками шлака в процессе продувки кислородом являются:

- окисление шлакообразующих компонентов шихты ( $Ш_{1,2}$ );
- загрязнения металлического лома ( $Ш_2$ ),
- известь свежееобожжённая, вводимая в печь ( $Ш_3$ ),
- материал футеровки печи ( $Ш_4$ ),
- оксиды железа ( $Ш_5$ ).

Количество образующегося шлака:

$$M_7 = Ш_{1,2} + Ш_2 + Ш_3 + Ш_4 + Ш_5. \quad (11)$$

Продукты окисления металлической части шихты:

$$Ш_{1,2} = \frac{(M_1 + M_2)}{100} \cdot (2,14 \cdot \Delta[Si] + 2,29 \cdot \Delta[P] + 1,29 \cdot \Delta[Mn]), \quad (12)$$

$$Ш_{1,2} = \frac{(170 + 830)}{100} \cdot (2,14 \cdot 0,329 + 2,29 \cdot 0,02285 + 1,29 \cdot 0,4655) = 13,57 \text{ кг.}$$

Загрязнения лома вносят в шлак:

$$Ш_2 = \frac{m \cdot (M_1 + M_2)}{10^4} \cdot [(SiO_2)_2 + (Al_2O_3)_2], \quad (13)$$

отсюда

$$Ш_2 = \frac{1 \cdot 1000}{10^4} \cdot (65 + 35) = 10 \text{ кг.}$$



Известь свежесожжённая внесёт в шлак:

$$\text{Ш}_3 = \frac{M_3}{100} \cdot [(\text{CaO})_3 + (\text{SiO}_2)_3 + (\text{Al}_2\text{O}_3)_3 + (\text{Fe}_2\text{O}_3)_3 + (\text{MgO}_3) + (\text{P}_2\text{O}_5)_3], \quad (14)$$

После подстановки данных получим

$$\text{Ш}_3 = \frac{39,89}{100} \cdot (92 + 2,5 + 1,0 + 0,6 + 3,3 + 0,1) = 39,69 \text{ кг.}$$

Материалы футеровки внесут в шлак:

$$\text{Ш}_4 = \frac{M_4}{100} \cdot [(\text{SiO}_2)_4 + (\text{Al}_2\text{O}_3)_4 + (\text{MnO})_4 + (\text{MgO})_4 + (\text{CaO})_4 + (\text{P}_2\text{O}_5)_4], \quad (15)$$

отсюда

$$\text{Ш}_4 = \frac{3}{100} \cdot (1,6 + 0,3 + 95 + 2) = 2,97 \text{ кг.}$$

Оксиды железа внесут в шлак:

$$\text{Ш}_5 = \frac{M_7}{100} \cdot [(\text{FeO})_7 + (\text{Fe}_2\text{O}_3)_7], \quad (16)$$

тогда

$$\text{Ш}_5 = \frac{M_7}{100} \cdot (20 + 4) = 0,24 \cdot M_7.$$

Подставим это выражение в (11), получим, что общее количество шлака:

$$M_7 = \text{Ш}_{1,2} + \text{Ш}_2 + \text{Ш}_3 + \text{Ш}_4 + \text{Ш}_5,$$

$$M_7 = 13,57 + 10 + 39,69 + 2,97 + 0,24 \cdot M_7,$$

$$M_7 = 87,1 \text{ кг.}$$

## 5. Определение выхода жидкой стали.

В процессе выплавки масса жидкого расплава уменьшается за счёт окисления C, Si, Mn, P, потерь железа со шлаком в виде оксидов железа и потерь железа с пылью, выносами и выбросами.

Выход жидкой стали:

$$M_6 = M_1 + M_2 - \frac{(M_1 + M_2)}{100} \cdot (\Delta[\text{C}] + \Delta[\text{Si}] + \Delta[\text{Mn}] + \Delta[\text{P}] -$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{M_7}{100} \cdot [0,7 \cdot (\text{Fe}_2\text{O}_3)_7 + 0,78 \cdot (\text{FeO})_7] - \frac{e \cdot M_7}{100} - \frac{(M_1 + M_2)}{100} \cdot (b + m) - \\
& - \frac{M_9}{100} \cdot 0,7 \cdot (\text{Fe}_2\text{O}_3) + \frac{b \cdot (M_1 + M_2)}{10^4} \cdot [0,7 \cdot (\text{Fe}_2\text{O}_3)_2 + 0,78 \cdot (\text{FeO})_2] - M_{10}, \quad (17)
\end{aligned}$$

где  $e$  – массовая доля корольков железа в шлаке, 1%;  
 $b$  – количество окалины лома, 2 %;  $m$  – количество загрязнений лома, 1%;  $M_{10}$  – потери металла с выносами и выбросами, 3%.

Пыли выделяется 1% от массы шихты, что соответствует  $M_9 = 10$  кг.

$$\begin{aligned}
M_6 &= 170 + 830 - \frac{(170 + 830)}{100} \cdot (0,8695 + 0,329 + 0,4655 + 0,02285) - \\
& - \frac{87,1}{100} \cdot (0,7 \cdot 4 + 0,78 \cdot 20) - \frac{1 \cdot 87,1}{100} - \frac{(170 + 830)}{100} \cdot (1 + 2) - \\
& - \frac{10}{100} \cdot 0,7 \cdot 100 + + \frac{2 \cdot (170 + 830)}{10^4} \cdot (0,7 \cdot 70 + 0,78 \cdot 30) - 30 = 913,7 \text{ кг.}
\end{aligned}$$

Таким образом, выход жидкой стали равен 91,37%.

#### 6. Определение расхода газообразного кислорода.

Для процесса в дуговой сталеплавильной печи основным источником кислорода является технический чистый кислород, вдуваемый через фурму в ванну. Часть кислорода поступает из окалины металлолома. Кислород расходуется на окисление элементов шихты, окисление железа. Переходящего в шлак, и небольшая доля кислорода теряется с плавильной пылью. Баланс кислорода записывается следующим уравнением:

$$O_1 + O_2 = O_3 + O_4 + O_5, \quad (18)$$

где  $O_1$  – количество газообразного кислорода, поступающего на продувку;  $O_2$  – количество кислорода, поступающего из окалины скрапа;  $O_3$  – количество кислорода, необходимое на окисление примесей;  $O_4$  – количество кислорода, необходимое на образование оксидов железа, переходящих в шлак;  $O_5$  – количество кислорода, теряемое в виде плавильной пыли.

Количество кислорода, поступающего из окалины металлического лома

$$O_2 = \frac{b \cdot (M_1 + M_2)}{10^4} \cdot \left[ \frac{16}{72} \cdot (FeO)_2 + \frac{48}{160} \cdot (Fe_2O_3)_2 \right], \quad (19)$$

где  $b$  – количество окалины в ломе, 2%;  $(FeO)_2$  и  $(Fe_2O_3)_2$  – массовые доли оксидов железа в окалине, 30 и 70%.

$$O_2 = \frac{2 \cdot (170 + 830)}{10^4} \cdot [0,222 \cdot 30 + 0,3 \cdot 70] = 5,5 \text{ кг.}$$

Количество кислорода необходимое на окисление элементов:

$$O_3 = \frac{(M_1 + M_2)}{100} \cdot (1 - \eta) \cdot \Delta[C] \cdot \frac{16}{12} + \frac{(M_1 + M_2)}{100} \cdot \eta \cdot \Delta[C] \cdot \frac{32}{12} + \frac{(M_1 + M_2)}{100} \cdot \Delta[Si] \cdot \frac{32}{28} + \\ + \frac{(M_1 + M_2)}{100} \cdot \Delta[Mn] \cdot \frac{16}{55} + \frac{(M_1 + M_2)}{100} \cdot \Delta[P] \cdot \frac{80}{62}, \quad (20)$$

где  $\eta$  - доля углерода, окисляющегося до  $CO_2$ , 0,1.

$$O_3 = \frac{(170 + 830)}{100} \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,8695 \cdot 1,3 + \frac{(170 + 830)}{100} \cdot 1 \cdot 0,8695 \cdot 2,6 + \\ + \frac{(170 + 830)}{100} \cdot 0,329 \cdot 1,14 + \frac{(170 + 830)}{100} \cdot 0,4655 \cdot 0,29 + \\ + \frac{(170 + 830)}{100} \cdot 0,02285 \cdot 1,29 = 17,9 \text{ кг.}$$

Количество кислорода, необходимое на образование оксидов железа шлака:

$$O_4 = \frac{M_7}{100} \cdot [0,222 \cdot (FeO)_7 + 0,3 \cdot (Fe_2O_3)_7], \quad (21)$$

$$O_4 = \frac{87,14}{100} \cdot (0,222 \cdot 20 + 0,3 \cdot 4) = 4,88 \text{ кг.}$$

Количество кислорода, теряемое с пылью:

$$O_5 = \frac{M_9}{100} \cdot [0,3 \cdot (Fe_2O_3)] \quad (22)$$

где  $(Fe_2O_3)$  – массовая доля оксида железа в пыли, 100%.

$$O_5 = \frac{10}{100} \cdot (0,3 \cdot 100) = 3 \text{ кг.}$$

Количество технического кислорода, подаваемого в печь:

$$O_1 = \frac{M_5}{100} \cdot \{O_2\} \cdot K, \quad (23)$$

где –  $\{O_2\}$  – массовая доля кислорода в технически чистом кислороде, равная 99,5%;  $K$  – коэффициент усвоения кислорода, 0,9.

$$O_1 = \frac{M_5}{100} \cdot 99,5 \cdot 0,9 = 0,8955 \cdot M_5.$$

Подставим это выражение в (18), получим баланс кислорода:

$$O_1 + O_2 = O_3 + O_4 + O_5,$$

$$0,8955 \cdot M_5 + 5,5 = 17,9 + 4,88 + 3$$

$$M_5 = 22,65 \text{ кг.}$$

$$O_1 = 0,8955 \cdot 22,64 = 20,28 \text{ кг.}$$

Тогда баланс кислорода равен:

$$O_1 + O_2 = O_3 + O_4 + O_5,$$

$$20,28 + 5,5 = 17,9 + 4,88 + 3.$$

## 7. Определение количества отходящих газов.

В процессе продувки в дуговой сталеплавильной печи образуются газы:

- за счёт окисления углерода шихты ( $\Gamma_1$ );
- за счёт разложения извести свежееобожжённой ( $\Gamma_2$ ).

В атмосфере печи присутствуют азот и неусвоенный кислород технического кислорода ( $\Gamma_3$ ).

Общее количество газов определяется по формуле:

$$M_8 = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3. \quad (24)$$

При этом за счёт окисления шихты:

$$\begin{aligned} \Gamma_1 &= 2,33 \cdot \Delta[C] \cdot \frac{(M_1 + M_2)}{100} \cdot (1 - \eta) + 3,67 \cdot \Delta[C] \cdot \frac{(M_1 + M_2)}{100} \cdot \eta = \\ &= \frac{(M_1 + M_2)}{100} \cdot \Delta[C] \cdot (2,33 + 1,34 \cdot \eta), \end{aligned} \quad (25)$$

$$\Gamma_1 = 2,33 \cdot 0,8695 \cdot 10 \cdot 0,9 + 3,67 \cdot 0,8695 \cdot 10 \cdot 0,1 = 21,42 \text{ кг.}$$

За счёт разложения извести:

$$\Gamma_2 = \frac{M_3}{100} \cdot (\{CO_2\} + \{H_2O\}); \quad (26)$$

$$\Gamma_2 = \frac{39,89}{100} \cdot (0,2 + 0,2) = 0,15 \text{ кг.}$$

Количество азота и неусвоенного кислорода технического кислорода определяется по формуле:

$$\Gamma_3 = \frac{M_5}{100} \cdot (1 - K) \cdot \{O_2\} + \frac{M_5}{100} \cdot N_2; \quad (27)$$

$$\Gamma_3 = \frac{22,65}{100} \cdot (1 - 0,9) \cdot 99,5 + \frac{22,65}{100} \cdot 0,5 = 2,37 \text{ кг,}$$

где  $\{N_2\}$  – массовая доля азота в технически чистом кислороде, равная 0,5%.

Подставим это выражение в (24), получим общее количество газов:

$$M_8 = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3.$$

$$M_8 = 21,42 + 0,15 + 2,37 = 23,94 \text{ кг.}$$

Тогда материальный баланс равен:

$$M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 = M_6 + M_7 + M_8 + M_9 + M_{10},$$

$$170 + 830 + 39,89 + 3 + 22,65 = 913,7 + 87,1 + 23,9 + 10 + 0,871 + 30$$

Материальный баланс плавки представлен в таблице 4.

Таблица 4.

Материальный баланс плавки в ДСП-150

| Приход                  | кг      | %     | Расход                       | кг      | %     |
|-------------------------|---------|-------|------------------------------|---------|-------|
| Чугун                   | 170     | 15,59 | Сталь                        | 913,7   | 85,75 |
| Металлолом              | 830     | 77,9  | Шлак                         | 87,1    | 8,2   |
| Известь свежееобожённая | 39,89   | 3,74  | Газы                         | 23,9    | 2,22  |
| Кислород                | 22,65   | 2,13  | Потери                       |         |       |
| Футеровка               | 3       | 0,28  | С пылью                      | 10      | 0,94  |
|                         |         |       | С<br>корольками<br>в шлаке   | 0,871   | 0,08  |
|                         |         |       | С<br>выносами и<br>выбросами | 30      | 2,81  |
| Итого                   | 1065,54 | 100   | Итого                        | 1065,54 | 100   |

## 4. Варианты заданий

### Вариант 1.

Расчёт материального баланса ведётся на 1 т металлошихты. При производстве выбранной марки стали с регламентируемым содержанием примесей цветных металлов Cu, Ni не более 0,30 %. Масса плавки 100 т. Расход металлического лома ЗАЭ (ГОСТ 1050-88) Сталь 25 составляет 79,2 % или 792 кг/т металлошихты. Расход ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686- 2009) Железо, восстановленное газом составляет 20,8 % или 208 кг/т металлошихты. Количество футеровки, перешедшей в шлак, 3 кг/т металлошихты. Массовая доля корочек железа в шлаке составляет 1%; количество окислы лома составляет 2 %; количество загрязнений лома составляет 1%; потери металла с выносами и выбросами составляют 3%. Пыли выделяется 1% от массы шихты, что соответствует 10 кг. Массовые доли оксидов железа в окислы (FeO)<sub>2</sub> 30% и (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 70%. Доля углерода, окисляющегося до CO<sub>2</sub> составляет 0,1. Массовая доля оксидов железа в пыли составляет 100. Массовая доля кислорода в технически чистом кислороде, составляет 99,5%; коэффициент усвоения кислорода равен 0,9. Массовая доля азота в технически чистом кислороде, составляет 0,5%.

В табл. 5 отражается средний состав шихтовых материалов, количество удалённых примесей, состав металла перед выпуском. Данные о составе различных материалов, участвующих в шлакообразовании, приведены в табл. 6.

Таблица 5

Изменение состава при выплавке стали

| Компоненты шихты                | Содержание примесей, % |      |     |      |       |    |          |       |     |     |
|---------------------------------|------------------------|------|-----|------|-------|----|----------|-------|-----|-----|
|                                 | C                      | Si   | Mn  | Cr   | Mo    | Al | S        | P     | Ni  | Cu  |
|                                 |                        |      |     |      |       |    | Не более |       |     |     |
| ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686-2009)      | 1,8386                 | -    | -   | -    | -     | -  | 0,0018   |       |     |     |
| ЗАЭ ДСП Сталь 25 (ГОСТ 1050-88) | 0,25                   | 0,22 | 0,6 | 0,25 | 0,021 | -  | 0,04     | 0,035 | 0,3 | 0,3 |

|                             |        |       |       |       |      |   |        |        |       |       |
|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|------|---|--------|--------|-------|-------|
| Средний состав шихты        | 0,4216 | 0,196 | 0,535 | 0,223 | 0,02 | - | 0,0359 | 0,031  | 0,268 | 0,268 |
| Состав стали перед выпуском | 0,073  | 0,005 | 0,046 | 0,089 | 0,02 | - | 0,0430 | 0,0033 | 0,440 | 0,220 |
| Окислилось примесей         | 0,347  | 0,191 | 0,489 | 0,134 | -    | - | 0,0071 | 0,0277 | 0,172 | 0,48  |

Таблица 6

Состав различных материалов, принимающих участие в шлакообразовании

|                                       | Состав, % |                  |                                |     |   |                 |                  |                                |                               |
|---------------------------------------|-----------|------------------|--------------------------------|-----|---|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                       | CaO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | S | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
| Известь ТУ 20.59.56-001-09560019-2017 | 85        | -                | -                              | 5   | - | 4               | 6                | -                              | -                             |
| Футеровка ДСП                         | 2,0       | 1,6              | 0,3                            | 90  | - | -               | -                | -                              | -                             |
| Загрязнения лома                      | -         | 65               | 35                             | -   | - | -               | -                | -                              | -                             |

## Вариант 2.

Расчёт материального баланса ведётся на 1 т металлошихты. При производстве выбранной марки стали с регламентируемым содержанием примесей цветных металлов Cu, Ni не более 0,30 % в завалку подаётся пакет стальной (ГОСТ 1050-2013) сталь 0,8 составляет 26,59 % или 265,9 кг/т на плавку. Масса плавки 90 т. Расход стального лома ЗА ДСП сталь 05кп составляет 18,09 или 180,9 кг/т металлошихты. Расход стального лома ЗАЖД (ГОСТ Р 51685-2000) Сталь К78ХСФ составляет 16,21% или 162,1 кг/т металлошихты. Расход ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686- 2009) Сталь Р50 составляет 14,02% или 140,2 кг/т металлошихты. Расход лома стального ЗАЭ (ГОСТ 380-94) Сталь 3пс составляет 11,85 % или 118,5 кг/т металлошихты. Расход стружки стальной 15А (ГОСТ 1050 2013) Сталь 10 составляет 7,17 % или 71,7 кг/т металлошихты. Расход скрапа 25А1 составляет 6,07% или 60,7 кг/т металлошихты. Количество футеровки, перешедшей в шлак, 3 кг/т металлошихты. Массовая доля королек железа в шлаке

составляет 1%; количество окалины лома составляет 2 %; количество загрязнений лома составляет 1%; потери металла с выносами и выбросами составляют 3%. Пыли выделяется 1% от массы шихты, что соответствует 10 кг. Массовые доли оксидов железа в окалине ( $\text{FeO}$ )<sub>2</sub> 30% и ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )<sub>2</sub> 70%. Доля углерода, окисляющегося до  $\text{CO}_2$  составляет 0,1. Массовая доля оксида железа в пыли составляет 100. Массовая доля кислорода в технически чистом кислороде, составляет 99,5%; коэффициент усвоения кислорода равен 0,9. Массовая доля азота в технически чистом кислороде, составляет 0,5%.

В табл. 7 отражается средний состав шихтовых материалов, количество удалённых примесей, состав металла перед выпуском. Данные о составе различных материалов, участвующих в шлакообразовании, приведены в табл. 8.

Таблица 7

Изменение состава при выплавке стали

| Компоненты шихты  | Содержание примесей, % |                  |                  |                  |          |       |      |      |                    |
|---|------------------------|------------------|------------------|------------------|----------|-------|------|------|--------------------|
|   | C                      | Si               | Mn               | Cr               | S        | P     | Ni   | Cu   | Другие<br>элементы |
|   |                        |                  |                  |                  | Не более |       |      |      |                    |
| Состав стали<br>38Г2СФ-4 ГОСТ 632<br>ТУ 14-3Р-29                                    | 0,37-0,39              | 0,40-0,45        | 1,30-1,42        | -                | 0,030    | 0,03  | 0,30 | 0,30 | V=0,05<br>Mo=0,03  |
| Пакет стальной<br>(ГОСТ 1050-2013)<br>сталь 08                                      | 0,05-0,12              | 0,17-0,37        | 0,35-0,65        | Не более<br>0,10 | 0,035    | 0,30  | 0,30 | 0,30 | -                  |
| Лом и отходы<br>стальные,<br>углеродистые 3А<br>ДСП (ГОСТ 1050-<br>2013) Сталь 05кп | Не более<br>0,06       | Не более<br>0,03 | Не более<br>0,40 | Не более<br>0,10 | 0,035    | 0,30  | 0,30 | 0,30 | -                  |
| Лом стальной<br>ЗАЖД (ГОСТ<br>Р51685-2000) Сталь<br>К78ХСФ                          | 0,74-0,82              | 0,05-0,15        | 0,75-1,15        | 0,4-0,6          | 0,025    | 0,025 | -    | -    | V=0,05-0,15        |



|  |           |           |           |                |        |        |       |       |         |
|--|-----------|-----------|-----------|----------------|--------|--------|-------|-------|---------|
| Горячее брикетированное железо ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686- 2009) Сталь Р50 | 1,8386    | -         | -         | -              | 0,0018 | -      | -     | -     | -       |
| Лом стальной 3АЭ (ГОСТ 380-94) Сталь 3пс                             | 0,14-0,22 | 0,05-0,15 | 0,40-0,65 | -              | -      | -      | -     | -     | -       |
| Стружка стальная 15А (ГОСТ 1050 2013) Сталь 10                       | 0,07-0,14 | 0,17-0,37 | 0,35-0,65 | Не более 0,015 | 0,035  | 0,30   | 0,30  | 0,30  | -       |
| Скрап 25А1   | 0,37-0,39 | 0,40-0,45 | 1,30-1,42 | -              | 0,030  | 0,30   | 0,30  | 0,30  | V=0,05  |
| Средний состав шихты   | 0,838     | 0,551     | 1,427     | 0,232          | 0,062  | 0,056  | 0,526 | 0,526 | -       |
| Состав стали перед выпуском  | 0,093     | 0,006     | 0,083     | 0,067          | 0,051  | 0,0087 | 0,100 | 0,154 | V=0,002 |
| Окислилось примесей  | 0,745     | 0,545     | 1,344     | 0,165          | 0,011  | 0,047  | 0,426 | 0,372 |         |

Таблица 8

Состав различных материалов, принимающих участие в шлакообразовании

|                          | Состав, % |                  |                                |     |     |                 |                  |                                |                               |
|--------------------------|-----------|------------------|--------------------------------|-----|-----|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                          | CaO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | S   | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
| Известь свежееобожжённая | 92        | 2,5              | 1,0                            | 3,3 | 0,1 | 0,2             | 0,2              | 0,6                            | 0,1                           |
| Футеровка ДСП            | 2,0       | 1,6              | 0,3                            | 95  | -   | -               | -                | -                              | -                             |
| Загрязнения лома         | -         | 65               | 35                             | -   | -   | -               | -                | -                              | -                             |

### Вариант 3.

Расчёт материального баланса ведётся на 1 т металлошихты. При производстве выбранной марки стали с регламентируемым содержанием примесей цветных металлов Cu, Ni не более 0,30 %. Масса плавки 120 т. Расход металлического лома 3АЭ (ГОСТ 1050-88) Сталь 35 составляет 73,78 % или 737,8 кг/т металлошихты. Расход металлического лома и отходов 3А ДСП (ГОСТ 1050-2013) Сталь 20 пс составляет 4,37 % или 43,7 кг/т металлошихты. Расход металлического лома и отходов 3А ЖД (ГОСТ Р 51685-2000) Сталь 32Г2А составляет 6,01 % или 60,1 кг/т металлошихты. Расход ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686- 2009) Железо, восстановленное газом составляет 12,74 % или 127,4 кг/т металлошихты. Расход металлического лома 25А1 (ГОСТ 4543) Сталь 15ХМ составляет 3,1 % или 31 кг/т металлошихты. Количество футеровки, перешедшей в шлак, 3 кг/т металлошихты. Массовая доля корочек железа в шлаке составляет 1%; количество окалина лома составляет 2 %; количество загрязнений лома составляет 1%; потери металла с выносами и выбросами составляют 3%. Пыли выделяется 1% от массы шихты, что соответствует 10 кг. Массовые доли оксидов железа в окалине (FeO)<sub>2</sub> 30% и (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 70%. Доля углерода, окисляющегося до CO<sub>2</sub> составляет 0,1. Массовая доля оксида железа в пыли составляет 100. Массовая доля кислорода в технически чистом кислороде, составляет 99,5%; коэффициент усвоения кислорода равен 0,9. Массовая доля азота в технически чистом кислороде, составляет 0,5%.

В табл. 9 отражается средний состав шихтовых материалов, количество удалённых примесей, состав металла перед выпуском. Данные о составе различных материалов, участвующих в шлакообразовании, приведены в табл. 10.

Таблица 9

#### Изменение состава при выплавке стали

| Компоненты шихты                              | C           | Si          | Mn          | S      | P      | Ni    | Cu    | Cr    |
|---|-------------|-------------|-------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Состав стали<br>32ГФА ГОСТ 632<br>ТУ 14-ЗР-29 | 0,340-0,370 | 0,170-0,300 | 1,300-1,450 | 0,0100 | 0,0170 | 0,300 | 0,300 | 0,250 |

|   |           |           |           |        |        |       |       |                  |
|---|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-------|-------|------------------|
| Лом стальной<br>ЗАЭ Сталь 35<br>ГОСТ 1050-88  | 0,32-0,4  | 0,17-0,37 | 0,5-0,8   | 0,040  | 0,035  | 0,25  | 0,25  | 0,25             |
| Лом и отходы<br>стальные,<br>углеродистые<br>ЗА ДСП<br>(ГОСТ 1050-2013)<br>Сталь 20пс | 0,17-0,24 | 0,05-0,17 | 0,35-0,65 | 0,04   | 0,035  | 0,30  | 0,30  | 0,25             |
| Горячее<br>брикетированное<br>железо<br>ГБЖ<br>(ГОСТ РИСО 9686-<br>2009) Сталь P50    | 1,8386    | -         | -         | 0,0018 | -      | -     | -     | -                |
| Лом стальной<br>ЗАЖД<br>(ГОСТ P51685-<br>2000) Сталь 32Г2А                            | 0,30-0,35 | 0,20-0,35 | 1,25-1,45 | 0,015  | 0,020  | 0,30  | 0,30  | Не более<br>0,30 |
| Скрап<br>25А1 (ГОСТ 4543)<br>Сталь 15ХМ   | 0,11-0,18 | 0,17-0,37 | 0,4-0,7   | 0,035  | 0,035  | 0,30  | 0,30  | 0,8-1,1          |
| Средний состав<br>шихты   | 0,5355    | 0,23      | 0,634     | 0,0334 | 0,03   | 0,224 | 0,224 | 0,24             |
| Состав стали перед<br>выпуском  | 0,330     | 0,270     | 1,400     | 0,0078 | 0,0059 | 0,081 | 0,190 | 0,074            |
| Окислилось<br>Примесей  | 0,2055    | -0,04     | -0,766    | 0,0256 | 0,0241 | 0,143 | 0,034 | 0,166            |

Таблица 10

Состав различных материалов, принимающих участие в шлакообразовании

|  | Состав, % |                  |                                |     |   |                 |                  |                                |                               |    |
|--|-----------|------------------|--------------------------------|-----|---|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|----|
|  | CaO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | S | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | C  |
| Известняк<br>(ГОСТ 9179-77)                          | 85        | -                | -                              | 5   | - | 4               | 6                | -                              | -                             |    |
| Футеровка ДСП<br>Марка ПУПК-90-7<br>(ГОСТ 5341-2016) | -         | -                | -                              | 90  | - | -               | -                | -                              | -                             | 10 |
| Загрязнения лома                                     | -         | 65               | 35                             | -   | - | -               | -                | -                              | -                             | -  |

#### Вариант 4.

Расчёт материального баланса ведётся на 1 т металлошихты. При производстве выбранной марки стали с регламентируемым содержанием примесей цветных металлов Cu, Ni не более 0,30 %. Масса плавки 145 т. Расход металлического лома ЗАН-1 (ГОСТ 19281-89) Сталь 15ГС составляет 74,0 % или 740 кг/т металлошихты. Расход металлического лома ЗА ДСП (ГОСТ 1050-88) Сталь 25 составляет 10,2 % или 102 кг/т металлошихты. Расход ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686-2009) Железо, восстановленное газом составляет 12,90 % или 129,0 кг/т металлошихты. Расход металлического лома 25А1 (ГОСТ 4543) Сталь 15ХМ составляет 2,9 % или 29 кг/т металлошихты. Количество футеровки, перешедшей в шлак, 3 кг/т металлошихты. Массовая доля корольков железа в шлаке составляет 1%; количество окалины лома составляет 2 %; количество загрязнений лома составляет 1%; потери металла с выносами и выбросами составляют 3%. Пыли выделяется 1% от массы шихты, что соответствует 10 кг. Массовые доли оксидов железа в окалине (FeO)<sub>2</sub> 30% и (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 70%. Доля углерода, окисляющегося до CO<sub>2</sub> составляет 0,1. Массовая доля оксида железа в пыли составляет 100. Массовая доля кислорода в технически чистом кислороде, составляет 99,5%; коэффициент усвоения кислорода равен 0,9. Массовая доля азота в технически чистом кислороде, составляет 0,5%.

В табл. 11 отражается средний состав шихтовых материалов, количество удалённых примесей, состав металла перед выпуском. Данные о составе различных материалов, участвующих в шлакообразовании, приведены в табл. 12.

## Изменение состава при выплавке стали

| Компоненты шихты   | Содержание примесей % |        |        |        |      |    |         |        |        |        |
|--|-----------------------|--------|--------|--------|------|----|---------|--------|--------|--------|
|  | C                     | Si     | Mn     | Cr     | Mo   | Al | S       | P      | Ni     | Cu     |
|  | Не более              |        |        |        |      |    |         |        |        |        |
| Состав стали 32ХГА(4355) по СТО ТАГМЕТ 00186602-003-2017 | 0,34                  | 0,3    | 0,850  | 1,150  | 0,05 | -  | 0,01    | 0,035  | 0,3    | 0,3    |
| ЗАН-1<br>Сталь 15ГС<br>(ГОСТ 19281-89)                   | 0,16                  | 0,8    | 1      | 0,3    | -    | -  | 0,025   | 0,035  | 0,3    | 0,3    |
| ГБЖ<br>(ГОСТ Р ИСО 9686-2009)                            | 1,8386                | -      | -      | -      | -    | -  | 0,0018  | -      | -      | -      |
| ЗА ДСП<br>Сталь 25<br>(ГОСТ 1050-88)                     | 0,25                  | 0,22   | 0,6    | 0,25   | -    | -  | 0,04    | 0,035  | 0,3    | 0,3    |
| Средний состав шихты                                     | 0,377                 | 0,529  | 0,720  | 0,229  | -    | -  | 0,0023  | 0,028  | 0,238  | 0,238  |
| Состав стали перед выпуском                              | 0,0850                | 0,0110 | 0,0420 | 0,0530 | -    | -  | 0,0500  | 0,0048 | 0,0720 | 0,230  |
| Окислилось<br>Примесей                                   | 0,2918                | 0,518  | 0,55   | 0,1758 | -    | -  | -0,0272 | 0,0230 | 0,1659 | 0,0079 |

Таблица 12

Состав различных материалов, принимающих участие в шлакообразовании

|                      | Состав, % |                  |                                |     |   |                 |                  |                                |                               |      |
|----------------------|-----------|------------------|--------------------------------|-----|---|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|
|                      | CaO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | S | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | C    |
| Известь строительная | 85        | -                | -                              | 5   | - | 4               | 6                | -                              | -                             |      |
| Футеровка ДСП        | -         | -                | -                              | 90  | - | -               | -                | -                              | -                             | 7-10 |
| Загрязнения лома     | -         | 65               | 35                             | -   | - | -               | -                | -                              | -                             | -    |

## Вариант 5.

Расчёт материального баланса ведётся на 1 т металлошихты. При производстве выбранной марки стали с регламентируемым содержанием примесей цветных металлов Cu, Ni не более 0,30 %. Масса плавки 120 т. Расход металлического лома ЗАЭ (ГОСТ 1050-88) Сталь 25 составляет 89,2 % или 892 кг/т металлошихты. Расход ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686- 2009) Железо, восстановленное газом составляет 10,8 % или 108 кг/т металлошихты. Количество футеровки, перешедшей в шлак, 3 кг/т металлошихты. Массовая доля корочек железа в шлаке составляет 1%; количество окалина лома составляет 2 %; количество загрязнений лома составляет 1%; потери металла с выносами и выбросами составляют 3%. Пыли выделяется 1% от массы шихты, что соответствует 10 кг. Массовые доли оксидов железа в окалине (FeO)<sub>2</sub> 30% и (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 70%. Доля углерода, окисляющегося до CO<sub>2</sub> составляет 0,1. Массовая доля оксида железа в пыли составляет 100. Массовая доля кислорода в технически чистом кислороде, составляет 99,5%; коэффициент усвоения кислорода равен 0,9. Массовая доля азота в технически чистом кислороде, составляет 0,5%.

В табл. 13 отражается средний состав шихтовых материалов, количество удалённых примесей, состав металла перед выпуском. Данные о составе различных материалов, участвующих в шлакообразовании, приведены в табл. 14.

Таблица 13

Изменение состава при выплавке стали

| Компоненты шихты                | Содержание примесей, % |       |       |       |       |    |          |       |       |       |
|---------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|----|----------|-------|-------|-------|
|                                 | C                      | Si    | Mn    | Cr    | Mo    | Al | S        | P     | Ni    | Cu    |
|                                 |                        |       |       |       |       |    | Не более |       |       |       |
| ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686-2009)      | 1,8386                 | -     | -     | -     | -     | -  | 0,0018   |       |       |       |
| ЗАЭ ДСП Сталь 25 (ГОСТ 1050-88) | 0,25                   | 0,22  | 0,6   | 0,25  | 0,021 | -  | 0,04     | 0,035 | 0,3   | 0,3   |
| Средний состав шихты            | 0,4216                 | 0,196 | 0,535 | 0,223 | 0,02  | -  | 0,0359   | 0,031 | 0,268 | 0,268 |

|                                |       |       |       |       |      |   |        |        |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|---|--------|--------|-------|-------|
| Состав стали перед<br>выпуском | 0,073 | 0,005 | 0,046 | 0,089 | 0,02 | . | 0,0430 | 0,0033 | 0,440 | 0,220 |
| Окислилось примесей            | 0,347 | 0,191 | 0,489 | 0,134 | -    | - | 0,0071 | 0,0277 | 0,172 | 0,48  |

Таблица 14

Состав различных материалов, принимающих участие в шлакообразовании

|                                       | Состав, % |                  |                                |     |   |                 |                  |                                |                               |
|---------------------------------------|-----------|------------------|--------------------------------|-----|---|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                       | CaO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | S | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
| Известь ТУ 20.59.56-001-09560019-2017 | 85        | -                | -                              | 5   | - | 4               | 6                | -                              | -                             |
| Футеровка ДСП                         | 2,0       | 1,6              | 0,3                            | 90  | - | -               | -                | -                              | -                             |
| Загрязнения лома                      | -         | 65               | 35                             | -   | - | -               | -                | -                              | -                             |

### Вариант 6.

Расчёт материального баланса ведётся на 1 т металлошихты. При производстве выбранной марки стали с регламентируемым содержанием примесей цветных металлов Cu, Ni не более 0,30 % в завалку подаётся пакет стальной (ГОСТ 1050-2013) сталь 0,8 составляет 22,59 % или 225,9 кг/т на плавку. Масса плавки 150 т. Расход стального лома ЗА ДСП сталь 05кп составляет 15,09 или 150,9 кг/т металлошихты. Расход стального лома ЗАЖД (ГОСТ P51685-2000) Сталь K78ХСФ составляет 15,21% или 152,1 кг/т металлошихты. Расход ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686- 2009) Сталь P50 составляет 18,02% или 180,2 кг/т металлошихты. Расход лома стального ЗАЭ (ГОСТ 380-94) Сталь 3пс составляет 12,85 % или 128,5 кг/т металлошихты. Расход стружки стальной 15А (ГОСТ 1050 2013) Сталь 10 составляет 8,13 % или 81,7 кг/т металлошихты. Расход скрапа 25А1 составляет 8,07% или 80,7 кг/т металлошихты. Количество футеровки, перешедшей в шлак, 3 кг/т металлошихты. Массовая доля корольков железа в шлаке составляет 1%; количество окалины лома составляет 2 %; количество загрязнений лома составляет 1%; потери металла с выносами и выбросами составляют 3%. Пыли выделяется 1% от массы шихты, что

соответствует 10 кг. Массовые доли оксидов железа в окалине ( $\text{FeO}$ )<sub>2</sub> 30% и ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )<sub>2</sub> 70%. Доля углерода, окисляющегося до  $\text{CO}_2$  составляет 0,1. Массовая доля оксида железа в пыли составляет 100. Массовая доля кислорода в технически чистом кислороде, составляет 99,5%; коэффициент усвоения кислорода равен 0,9. Массовая доля азота в технически чистом кислороде, составляет 0,5%.

В табл. 15 отражается средний состав шихтовых материалов, количество удалённых примесей, состав металла перед выпуском. Данные о составе различных материалов, участвующих в шлакообразовании, приведены в табл. 16.

Таблица 15

Изменение состава при выплавке стали

| Компоненты шихты  | Содержание примесей, % |                  |                  |                  |          |       |      |      | Другие<br>элементы |
|---|------------------------|------------------|------------------|------------------|----------|-------|------|------|--------------------|
|   | C                      | Si               | Mn               | Cr               | S        | P     | Ni   | Cu   |                    |
|   |                        |                  |                  |                  | Не более |       |      |      |                    |
| Состав стали<br>38Г2СФ-4 ГОСТ 632<br>ТУ 14-3Р-29                                    | 0,37-0,39              | 0,40-0,45        | 1,30-1,42        | -                | 0,030    | 0,03  | 0,30 | 0,30 | V=0,05<br>Mo=0,03  |
| Пакет стальной<br>(ГОСТ 1050-2013)<br>сталь 08                                      | 0,05-0,12              | 0,17-0,37        | 0,35-0,65        | Не более<br>0,10 | 0,035    | 0,30  | 0,30 | 0,30 | -                  |
| Лом и отходы<br>стальные,<br>углеродистые 3А<br>ДСП (ГОСТ 1050-<br>2013) Сталь 05кп | Не более<br>0,06       | Не более<br>0,03 | Не более<br>0,40 | Не более<br>0,10 | 0,035    | 0,30  | 0,30 | 0,30 | -                  |
| Лом стальной<br>ЗАЖД (ГОСТ<br>Р51685-2000) Сталь<br>К78ХСФ                          | 0,74-0,82              | 0,05-0,15        | 0,75-1,15        | 0,4-0,6          | 0,025    | 0,025 | -    | -    | V=0,05-0,15        |
| Горячее<br>брикетированное<br>железо ГБЖ (ГОСТ<br>Р ИСО 9686- 2009)<br>Сталь Р50    | 1,8386                 | -                | -                | -                | 0,0018   | -     | -    | -    | -                  |



|  |           |           |           |                   |       |        |       |       |         |
|--|-----------|-----------|-----------|-------------------|-------|--------|-------|-------|---------|
| Лом стальной ЗАЭ<br>(ГОСТ 380-94)<br>Сталь 3пс       | 0,14-0,22 | 0,05-0,15 | 0,40-0,65 | -                 | -     | -      | -     | -     | -       |
| Стружка стальная<br>15А (ГОСТ 1050<br>2013) Сталь 10 | 0,07-0,14 | 0,17-0,37 | 0,35-0,65 | Не более<br>0,015 | 0,035 | 0,30   | 0,30  | 0,30  | -       |
| Скрап 25А1   | 0,37-0,39 | 0,40-0,45 | 1,30-1,42 | -                 | 0,030 | 0,30   | 0,30  | 0,30  | V=0,05  |
| Средний состав<br>шихты                              | 0,838     | 0,551     | 1,427     | 0,232             | 0,062 | 0,056  | 0,526 | 0,526 | -       |
| Состав стали перед<br>выпуском                       | 0,093     | 0,006     | 0,083     | 0,067             | 0,051 | 0,0087 | 0,100 | 0,154 | V=0,002 |
| Окислилось<br>примесей                               | 0,745     | 0,545     | 1,344     | 0,165             | 0,011 | 0,047  | 0,426 | 0,372 |         |

Таблица 16

Состав различных материалов, принимающих участие в шлакообразовании

|                            | Состав, % |                  |                                |     |     |                 |                  |                                |                               |
|----------------------------|-----------|------------------|--------------------------------|-----|-----|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                            | CaO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | S   | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
| Известь<br>свежеобожжённая | 92        | 2,5              | 1,0                            | 3,3 | 0,1 | 0,2             | 0,2              | 0,6                            | 0,1                           |
| Футеровка ДСП              | 2,0       | 1,6              | 0,3                            | 95  | -   | -               | -                | -                              | -                             |
| Загрязнения лома           | -         | 65               | 35                             | -   | -   | -               | -                | -                              | -                             |

## Вариант 7.

Расчёт материального баланса ведётся на 1 т металлошихты. При производстве выбранной марки стали с регламентируемым содержанием примесей цветных металлов Cu, Ni не более 0,30 %. Масса плавки 100 т. Расход металлического лома 3АЭ (ГОСТ 1050-88) Сталь 35 составляет 71,78 % или 717,8 кг/т металлошихты. Расход металлического лома и отходов 3А ДСП (ГОСТ 1050-2013) Сталь 20 пс составляет 7,37 % или 73,7 кг/т металлошихты. Расход металлического лома и отходов 3А ЖД (ГОСТ Р 51685-2000) Сталь 32Г2А составляет 6,51 % или 65,1 кг/т металлошихты. Расход ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686- 2009) Железо, восстановленное газом составляет 12,24 % или 122,4 кг/т металлошихты. Расход металлического лома 25А1 (ГОСТ 4543) Сталь 15ХМ составляет 2,1 % или 21 кг/т металлошихты. Количество футеровки, перешедшей в шлак, 3 кг/т металлошихты. Массовая доля корольков железа в шлаке составляет 1%; количество окалина лома составляет 2 %; количество загрязнений лома составляет 1%; потери металла с выносами и выбросами составляют 3%. Пыли выделяется 1% от массы шихты, что соответствует 10 кг. Массовые доли оксидов железа в окалине (FeO)<sub>2</sub> 30% и (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 70%. Доля углерода, окисляющегося до CO<sub>2</sub> составляет 0,1. Массовая доля оксида железа в пыли составляет 100. Массовая доля кислорода в технически чистом кислороде, составляет 99,5%; коэффициент усвоения кислорода равен 0,9. Массовая доля азота в технически чистом кислороде, составляет 0,5%.

В табл. 17 отражается средний состав шихтовых материалов, количество удалённых примесей, состав металла перед выпуском. Данные о составе различных материалов, участвующих в шлакообразовании, приведены в табл. 18.

Таблица 17

### Изменение состава при выплавке стали

| Компоненты шихты                              | C           | Si          | Mn          | S      | P      | Ni    | Cu    | Cr    |
|---|-------------|-------------|-------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Состав стали<br>32ГФА ГОСТ 632<br>ТУ 14-ЗР-29 | 0,340-0,370 | 0,170-0,300 | 1,300-1,450 | 0,0100 | 0,0170 | 0,300 | 0,300 | 0,250 |

|   |           |           |           |        |        |       |       |                  |
|---|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-------|-------|------------------|
| Лом стальной<br>ЗАЭ Сталь 35<br>ГОСТ 1050-88  | 0,32-0,4  | 0,17-0,37 | 0,5-0,8   | 0,040  | 0,035  | 0,25  | 0,25  | 0,25             |
| Лом и отходы<br>стальные,<br>углеродистые<br>ЗА ДСП<br>(ГОСТ 1050-2013)<br>Сталь 20пс | 0,17-0,24 | 0,05-0,17 | 0,35-0,65 | 0,04   | 0,035  | 0,30  | 0,30  | 0,25             |
| Горячее<br>брикетированное<br>железо<br>ГБЖ<br>(ГОСТ РИСО 9686-<br>2009) Сталь P50    | 1,8386    | -         | -         | 0,0018 | -      | -     | -     | -                |
| Лом стальной<br>ЗАЖД<br>(ГОСТ P51685-<br>2000) Сталь 32Г2А                            | 0,30-0,35 | 0,20-0,35 | 1,25-1,45 | 0,015  | 0,020  | 0,30  | 0,30  | Не более<br>0,30 |
| Скрап<br>25А1 (ГОСТ 4543)<br>Сталь 15ХМ   | 0,11-0,18 | 0,17-0,37 | 0,4-0,7   | 0,035  | 0,035  | 0,30  | 0,30  | 0,8-1,1          |
| Средний состав<br>шихты   | 0,5355    | 0,23      | 0,634     | 0,0334 | 0,03   | 0,224 | 0,224 | 0,24             |
| Состав стали перед<br>выпуском  | 0,330     | 0,270     | 1,400     | 0,0078 | 0,0059 | 0,081 | 0,190 | 0,074            |
| Окислилось<br>Примесей  | 0,2055    | -0,04     | -0,766    | 0,0256 | 0,0241 | 0,143 | 0,034 | 0,166            |

Состав различных материалов, принимающих участие в шлакообразовании

|  | Состав, % |                  |                                |     |   |                 |                  |                                |                               |    |
|--|-----------|------------------|--------------------------------|-----|---|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|----|
|  | CaO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | S | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | C  |
| Известняк<br>(ГОСТ 9179-77)                          | 85        | -                | -                              | 5   | - | 4               | 6                | -                              | -                             |    |
| Футеровка ДСП<br>Марка ПУПК-90-7<br>(ГОСТ 5341-2016) | -         | -                | -                              | 90  | - | -               | -                | -                              | -                             | 10 |
| Загрязнения лома                                     | -         | 65               | 35                             | -   | - | -               | -                | -                              | -                             | -  |

### Вариант 8.

Расчёт материального баланса ведётся на 1 т металлошихты. При производстве выбранной марки стали с регламентируемым содержанием примесей цветных металлов Cu, Ni не более 0,30 %. Масса плавки 180 т. Расход металлического лома ЗАН-1 (ГОСТ 19281-89) Сталь 15ГС составляет 78,0 % или 780 кг/т металлошихты. Расход металлического лома ЗА ДСП (ГОСТ 1050-88) Сталь 25 составляет 8,2 % или 82 кг/т металлошихты. Расход ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686-2009) Железо, восстановленное газом составляет 10,90 % или 109,0 кг/т металлошихты. Расход металлического лома 25А1 (ГОСТ 4543) Сталь 15ХМ составляет 2,9 % или 29 кг/т металлошихты. Количество футеровки, перешедшей в шлак, 3 кг/т металлошихты. Массовая доля корольков железа в шлаке составляет 1%; количество окалины лома составляет 2 %; количество загрязнений лома составляет 1%; потери металла с выносами и выбросами составляют 3%. Пыли выделяется 1% от массы шихты, что соответствует 10 кг. Массовые доли оксидов железа в окалине (FeO)<sub>2</sub> 30% и (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 70%. Доля углерода, окисляющегося до CO<sub>2</sub> составляет 0,1. Массовая доля оксида железа в пыли составляет 100. Массовая доля кислорода в технически чистом кислороде, составляет 99,5%; коэффициент усвоения кислорода равен 0,9. Массовая доля азота в технически чистом кислороде, составляет 0,5%.

В табл. 19 отражается средний состав шихтовых материалов, количество удалённых примесей, состав металла перед выпуском. Данные о составе различных материалов, участвующих в шлакообразовании, приведены в табл. 20.

## Изменение состава при выплавке стали

| Компоненты<br>шихты   | Содержание примесей % |        |        |        |      |    |          |        |        |        |
|---|-----------------------|--------|--------|--------|------|----|----------|--------|--------|--------|
|   | C                     | Si     | Mn     | Cr     | Mo   | Al | S        | P      | Ni     | Cu     |
|   |                       |        |        |        |      |    | Не более |        |        |        |
| Состав стали<br>32ХГА(4355) по<br>СТО ТАГМЕТ<br>00186602-003-<br>2017 | 0,34                  | 0,3    | 0,850  | 1,150  | 0,05 | -  | 0,01     | 0,035  | 0,3    | 0,3    |
| ЗАН-1<br>Сталь 15ГС<br>(ГОСТ 19281-89)                                | 0,16                  | 0,8    | 1      | 0,3    | -    | -  | 0,025    | 0,035  | 0,3    | 0,3    |
| ГБЖ<br>(ГОСТ Р ИСО<br>9686-2009)                                      | 1,8386                | -      | -      | -      | -    | -  | 0,0018   | -      | -      | -      |
| ЗА ДСП<br>Сталь 25<br>(ГОСТ 1050-88)                                  | 0,25                  | 0,22   | 0,6    | 0,25   | -    | -  | 0,04     | 0,035  | 0,3    | 0,3    |
| Средний состав<br>шихты   | 0,377                 | 0,529  | 0,720  | 0,229  | -    | -  | 0,0023   | 0,028  | 0,238  | 0,238  |
| Состав стали<br>перед выпуском  | 0,0850                | 0,0110 | 0,0420 | 0,0530 | -    | -  | 0,0500   | 0,0048 | 0,0720 | 0,230  |
| Окислилось<br>Примесей  | 0,2918                | 0,518  | 0,55   | 0,1758 | -    | -  | 0,0272   | 0,0230 | 0,1659 | 0,0079 |

Таблица 20

Состав различных материалов, принимающих участие в шлакообразовании

|                      | Состав, % |                  |                                |     |   |                 |                  |                                |                               |      |
|----------------------|-----------|------------------|--------------------------------|-----|---|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|
|                      | CaO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | S | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | C    |
| Известь строительная | 85        | -                | -                              | 5   | - | 4               | 6                | -                              | -                             |      |
| Футеровка ДСП        | -         | -                | -                              | 90  | - | -               | -                | -                              | -                             | 7-10 |
| Загрязнения лома     | -         | 65               | 35                             | -   | - | -               | -                | -                              | -                             | -    |

## Вариант 9.

Расчёт материального баланса ведётся на 1 т металлошихты. При производстве выбранной марки стали с регламентируемым содержанием примесей цветных металлов Cu, Ni не более 0,30 %. Масса плавки 150 т. Расход металлического лома ЗАЭ (ГОСТ 1050-88) Сталь 25 составляет 92,2 % или 922 кг/т металлошихты. Расход ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686- 2009) Железо, восстановленное газом составляет 7,8 % или 78 кг/т металлошихты. Количество футеровки, перешедшей в шлак, 3 кг/т металлошихты. Массовая доля корочек железа в шлаке составляет 1%; количество окалина лома составляет 2 %; количество загрязнений лома составляет 1%; потери металла с выносами и выбросами составляют 3%. Пыли выделяется 1% от массы шихты, что соответствует 10 кг. Массовые доли оксидов железа в окалине (FeO)<sub>2</sub> 30% и (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 70%. Доля углерода, окисляющегося до CO<sub>2</sub> составляет 0,1. Массовая доля оксида железа в пыли составляет 100. Массовая доля кислорода в технически чистом кислороде, составляет 99,5%; коэффициент усвоения кислорода равен 0,9. Массовая доля азота в технически чистом кислороде, составляет 0,5%.

В табл. 21 отражается средний состав шихтовых материалов, количество удалённых примесей, состав металла перед выпуском. Данные о составе различных материалов, участвующих в шлакообразовании, приведены в табл. 22.

Таблица 21

Изменение состава при выплавке стали

| Компоненты шихты                | Содержание примесей, % |       |       |       |       |    |          |       |       |       |
|---------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|----|----------|-------|-------|-------|
|                                 | C                      | Si    | Mn    | Cr    | Mo    | Al | S        | P     | Ni    | Cu    |
|                                 |                        |       |       |       |       |    | Не более |       |       |       |
| ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686-2009)      | 1,8386                 | -     | -     | -     | -     | -  | 0,0018   |       |       |       |
| ЗАЭ ДСП Сталь 25 (ГОСТ 1050-88) | 0,25                   | 0,22  | 0,6   | 0,25  | 0,021 | -  | 0,04     | 0,035 | 0,3   | 0,3   |
| Средний состав шихты            | 0,4216                 | 0,196 | 0,535 | 0,223 | 0,02  | -  | 0,0359   | 0,031 | 0,268 | 0,268 |

|                                |       |       |       |       |      |   |        |        |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|---|--------|--------|-------|-------|
| Состав стали перед<br>выпуском | 0,073 | 0,005 | 0,046 | 0,089 | 0,02 | . | 0,0430 | 0,0033 | 0,440 | 0,220 |
| Окислилось примесей            | 0,347 | 0,191 | 0,489 | 0,134 | -    | - | 0,0071 | 0,0277 | 0,172 | 0,48  |

Таблица 22

Состав различных материалов, принимающих участие в шлакообразовании

|                                       | Состав, % |                  |                                |     |   |                 |                  |                                |                               |
|---------------------------------------|-----------|------------------|--------------------------------|-----|---|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                       | CaO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | S | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
| Известь ТУ 20.59.56-001-09560019-2017 | 85        | -                | -                              | 5   | - | 4               | 6                | -                              | -                             |
| Футеровка ДСП                         | 2,0       | 1,6              | 0,3                            | 90  | - | -               | -                | -                              | -                             |
| Загрязнения лома                      | -         | 65               | 35                             | -   | - | -               | -                | -                              | -                             |

### Вариант 10.

Расчёт материального баланса ведётся на 1 т металлошихты. При производстве выбранной марки стали с регламентируемым содержанием примесей цветных металлов Cu, Ni не более 0,30 % в завалку подаётся пакет стальной (ГОСТ 1050-2013) сталь 0,8 составляет 22,59 % или 225,9 кг/т на плавку. Масса плавки 120 т. Расход стального лома ЗА ДСП сталь 05кп составляет 19,09 или 190,9 кг/т металлошихты. Расход стального лома ЗАЖД (ГОСТ P51685-2000) Сталь K78ХСФ составляет 17,21% или 172,1 кг/т металлошихты. Расход ГБЖ (ГОСТ Р ИСО 9686- 2009) Сталь P50 составляет 15,02% или 150,2 кг/т металлошихты. Расход лома стального ЗАЭ (ГОСТ 380-94) Сталь Зпс составляет 10,85 % или 108,5 кг/т металлошихты. Расход стружки стальной 15А (ГОСТ 1050 2013) Сталь 10 составляет 8,67 % или 86,7 кг/т металлошихты. Расход скрапа 25А1 составляет 6,57% или 65,7 кг/т металлошихты. Количество футеровки, перешедшей в шлак, 3 кг/т металлошихты. Массовая доля корольков железа в шлаке составляет 1%; количество окалины лома составляет 2 %; количество загрязнений лома составляет 1%; потери металла с выносами и выбросами составляют 3%. Пыли выделяется 1% от массы шихты, что

соответствует 10 кг. Массовые доли оксидов железа в окалине  $(\text{FeO})_2$  30% и  $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_2$  70%. Доля углерода, окисляющегося до  $\text{CO}_2$  составляет 0,1. Массовая доля оксида железа в пыли составляет 100. Массовая доля кислорода в технически чистом кислороде, составляет 99,5%; коэффициент усвоения кислорода равен 0,9. Массовая доля азота в технически чистом кислороде, составляет 0,5%.

В табл. 23 отражается средний состав шихтовых материалов, количество удалённых примесей, состав металла перед выпуском. Данные о составе различных материалов, участвующих в шлакообразовании, приведены в табл. 24.

Таблица 23

Изменение состава при выплавке стали

| Компоненты шихты  | Содержание примесей, % |                  |                  |                  |          |       |      |      | Другие<br>элементы |
|---|------------------------|------------------|------------------|------------------|----------|-------|------|------|--------------------|
|   | C                      | Si               | Mn               | Cr               | S        | P     | Ni   | Cu   |                    |
|   |                        |                  |                  |                  | Не более |       |      |      |                    |
| Состав стали<br>38Г2СФ-4 ГОСТ 632<br>ТУ 14-3Р-29                                    | 0,37-0,39              | 0,40-0,45        | 1,30-1,42        | -                | 0,030    | 0,03  | 0,30 | 0,30 | V=0,05<br>Mo=0,03  |
| Пакет стальной<br>(ГОСТ 1050-2013)<br>сталь 08                                      | 0,05-0,12              | 0,17-0,37        | 0,35-0,65        | Не более<br>0,10 | 0,035    | 0,30  | 0,30 | 0,30 | -                  |
| Лом и отходы<br>стальные,<br>углеродистые 3А<br>ДСП (ГОСТ 1050-<br>2013) Сталь 05кп | Не более<br>0,06       | Не более<br>0,03 | Не более<br>0,40 | Не более<br>0,10 | 0,035    | 0,30  | 0,30 | 0,30 | -                  |
| Лом стальной<br>ЗАЖД (ГОСТ<br>Р51685-2000) Сталь<br>К78ХСФ                          | 0,74-0,82              | 0,05-0,15        | 0,75-1,15        | 0,4-0,6          | 0,025    | 0,025 | -    | -    | V=0,05-0,15        |
| Горячее<br>брикетированное<br>железо ГБЖ (ГОСТ<br>Р ИСО 9686- 2009)<br>Сталь Р50    | 1,8386                 | -                | -                | -                | 0,0018   | -     | -    | -    | -                  |



|  |           |           |           |                   |       |        |       |       |         |
|--|-----------|-----------|-----------|-------------------|-------|--------|-------|-------|---------|
| Лом стальной ЗАЭ<br>(ГОСТ 380-94)<br>Сталь 3пс       | 0,14-0,22 | 0,05-0,15 | 0,40-0,65 | -                 | -     | -      | -     | -     | -       |
| Стружка стальная<br>15А (ГОСТ 1050<br>2013) Сталь 10 | 0,07-0,14 | 0,17-0,37 | 0,35-0,65 | Не более<br>0,015 | 0,035 | 0,30   | 0,30  | 0,30  | -       |
| Скрап 25А1   | 0,37-0,39 | 0,40-0,45 | 1,30-1,42 | -                 | 0,030 | 0,30   | 0,30  | 0,30  | V=0,05  |
| Средний состав<br>шихты                              | 0,838     | 0,551     | 1,427     | 0,232             | 0,062 | 0,056  | 0,526 | 0,526 | -       |
| Состав стали перед<br>выпуском                       | 0,093     | 0,006     | 0,083     | 0,067             | 0,051 | 0,0087 | 0,100 | 0,154 | V=0,002 |
| Окислилось<br>примесей                               | 0,745     | 0,545     | 1,344     | 0,165             | 0,011 | 0,047  | 0,426 | 0,372 |         |

Таблица 24

Состав различных материалов, принимающих участие в шлакообразовании

|                            | Состав, % |                  |                                |     |     |                 |                  |                                |                               |
|----------------------------|-----------|------------------|--------------------------------|-----|-----|-----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                            | CaO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | S   | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
| Известь<br>свежеобожжённая | 92        | 2,5              | 1,0                            | 3,3 | 0,1 | 0,2             | 0,2              | 0,6                            | 0,1                           |
| Футеровка ДСП              | 2,0       | 1,6              | 0,3                            | 95  | –   | –               | –                | –                              | –                             |
| Загрязнения лома           | –         | 65               | 35                             | –   | –   | –               | –                | –                              | –                             |

## **5. Список литературы**

1. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин А.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М.: Metallurgy, 1987. – 270 с.
2. Казачков Е.А. Расчёты по теории металлургических процессов: учеб. пособие для вузов / Е.А. Казачков. – М.: Metallurgy, 1988. – 288 с.
3. Кем А.Ю. Металлургические технологии и безопасность процессов. Производство стали в дуговых сталеплавильных печах: теория, технология, расчёты / Кем А.Ю. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2015. – 143 с.