

Раздел 2. Производство стали в электропечах
Тема 2.1. Конструкция и расчет основных параметров дуговых сталеплавильных печей

Лекция №39

Тема: Определение оптимального электрического режима работы дуговой печи. Форма и размеры ванны. Размеры плавильного пространства. Мощность трансформатора и производительность печи.

План лекции:

1. Определение оптимального электрического режима работы дуговой печи. Форма и размеры ванны. Размеры плавильного пространства.
2. Мощность трансформатора и производительность печи.

Ванна печи круглая, занимает часть объема рабочего пространства, в котором находятся жидкие металл и шлак (рис.8.2). Для обеспечения минимальных тепловых потерь, хороших условий для взаимодействия металла и шлака, а также удобства заправки пода форму ванны выполняют сферо-коническую с углом конической части к горизонту 45° , равным углом естественного откоса заправочного сыпучего материала. Соотношение диаметра и глубины ванны целесообразно поддерживать в пределах 4-5.

Определение размеров печи покажем на следующем примере.

Рассчитаем печь с номинальной емкостью 45 т, работающую с оптимальной садкой $45 \times 1,4 = 63$ т.

Объем ванны

1 т жидкой стали занимает объем $0,14 \text{ м}^3$, 1 т шлака — $0,333 \text{ м}^3$.

Кратность шлака составит $\frac{P_{\text{шлака}}}{P_{\text{металла}}} = 0,07$.

Отсюда ванна печи после капитального ремонта должна иметь объем $(45 \times 0,14) + (45 \times 0,07 \times 0,333) = 6,30 + 1,05 = 7,35 \text{ м}^3$.

Глубина и диаметр ванны

Примем следующие условия:

1) форма ванны — сфероконическая (рисунок 10); 2) уровень шлака в окислительный период плавки совпадает с уровнем порога загрузочного окна и с уровнем нижней кромки выпускного отверстия; 3) отношение диаметра зеркала ванны к глубине ванны $D/H = 5$; 4) высота сферической части ванны $h_1 = 0,2 H$.

Объем ванны равен сумме объемов усеченного конуса и шарового сегмента

$$V_B = \frac{\pi h_2}{3} (R^2 + rR + r^2) + \pi h_1 \left(\frac{r^2}{2} + \frac{h_1^2}{6} \right),$$

где R — радиус зеркала ванны на уровне порога;

r — радиус шарового сегмента;

h_2 — высота усеченного конуса.

Так как по условию $D = 5H$; $R = 2,5H$; $h_1 = 0,2H$; $h_2 = 0,8H$;

$d = D - 2h_2 = 3,4H$; $r = 1,7H$, то

$$V_B = 12,1H^3, \text{ или } 0,0968D^3.$$

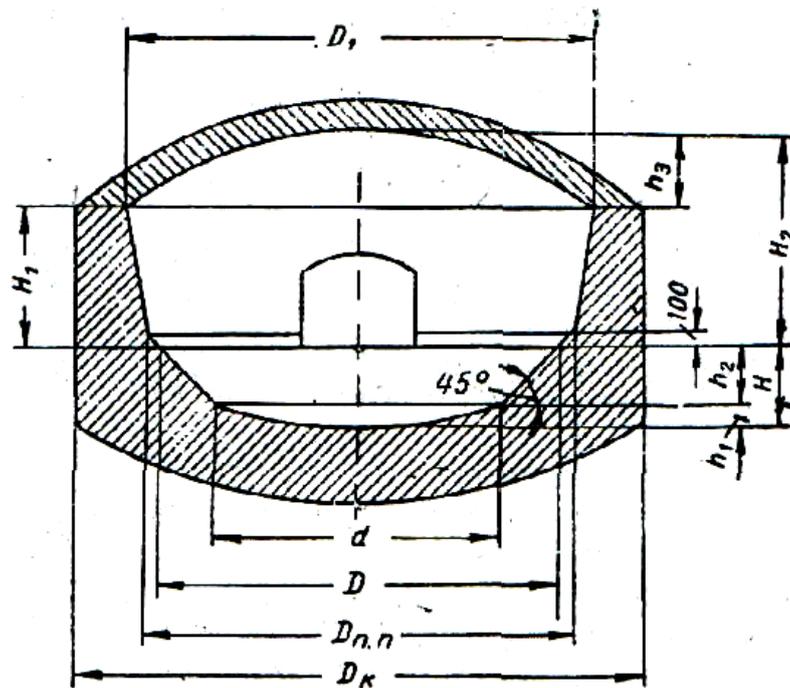


Рисунок 10 - Форма плавильного пространства дуговой печи

Для объема $7,35 \text{ м}^3$:

Глубина ванны $H = 847 \text{ мм} \approx 850 \text{ мм}$.

Диаметр зеркала $D = 850 \times 5 = 4250 \text{ мм}$.

Диаметр сферической части ванны $d = 850 \times 3,4 = 2890 \text{ мм}$.

Высота сферической части $h_1 = 0,2 \times 850 = 170 \text{ мм}$.

Высота конической части $h_2 = 0,8 \times 850 = 680 \text{ мм}$.

Размеры плавильного пространства

Если уровень откосов на 100 мм выше уровня зеркала ванны, то диаметр плавильного пространства на уровне откосов

$$D_{п.п} = 4250 \times 200 = 4450 \text{ мм}.$$

Высота H_1 от порога до пят свода может быть принята равной $0,42D \div 0,44D$,

$$\text{т. е. } H_1 = 4250 \times 0,44 = 1870 \text{ мм}.$$

Уклон стен рекомендуется равным 10% от высоты пят свода над уровнем откосов, т. е.

$$\frac{1870-100}{10} \approx 180 \text{ мм}$$

Диаметр плавильного пространства на уровне пят свода
 $D_1 = D_{\text{п.п}} + 2 \times 180 = 4810 \text{ мм.}$

Высота подъема для магнезитохромитового свода равна $\frac{1}{8} D_{\text{п.п}}$

$$h_3 = \frac{4450}{8} \approx 530 \text{ мм}$$

Толщина свода 300 мм. Расстояние от зеркала ванны до центральной части свода равно

$$1870 + 530 = 2400 \text{ мм.}$$

Толщина футеровки

На уровне верхнего края откосов толщина стен равна 535 мм; она состоит из 10 мм асбеста, 65 мм пеношамота и 460 мм магнезита.

Толщина подины для печей с электромагнитным перемешиванием металла примерно равна 90% от глубины ванны, т. е. 765 мм. Футеровку подины образуют: 20 мм инфузорной земли или шлаковой ваты, 65 мм пеношамотного кирпича, 65 мм шамотного кирпича, 410 мм магнезитового кирпича, 205 мм магнезитовой набойки.

Диаметр кожуха

Внутренний диаметр кожуха равен
 $D_{\text{к}} = D_{\text{п.п}} + 2\delta = 4453 + 2 \times 535 = 5520 \text{ мм.}$

Если кожух выполнен из железа толщиной 30 мм, то наружный диаметр кожуха

$$D_{\text{к.н}} = 5520 + 2 \times 30 = 5580 \text{ мм.}$$

Печной трансформатор предназначен для преобразования электроэнергии высокого напряжения (35 или 110 кВ) в электроэнергию низкого напряжения в пределах от 600 до 110 В в зависимости от мощности трансформатора.

Трехфазный трансформатор имеет связанные между собой три сердечника, на каждом из которых имеются по две обмотки. Обмотки высокого напряжения в связи с малой силой тока выполняют из медного провода небольшого сечения, а вторые обмотки из медных шин большого сечения. Сердечник с обмотками помещен в бак, заполненный маслом, которое является хорошим изолятором и охлаждающей жидкостью. Печные трансформаторы бывают с естественной и принудительной циркуляцией масла.

Трансформатор устанавливают в отдельном помещении как можно

ближе к печи, что способствует сокращению расхода меди и снижению электрических потерь.

Трансформатор оборудуют переключателем напряжения, предназначенным для увеличения или снижения потребляемой мощности. Для этого на первичной обмотке трансформатора делают несколько отпаек, которые выводят на переключатель ступеней напряжения. Переключение трансформатора с одной ступени на другую осуществляют масляными переключателями, имеющими приводы с дистанционным управлением с пульта печи. На печах малой вместимости переключение ступени проводят при снятом напряжении, а на печах большой вместимости – под нагрузкой, что позволяет сократить длительность переключения и общую продолжительность плавки, а также более рационально расходовать электроэнергию во время плавки. Переключение под нагрузкой облегчается благодаря большому числу ступеней напряжения. Так, трансформатор мощностью 25 МВ*А имеет 23 ступени напряжения в пределах 417–131 В.

Выбор мощности трансформатора

Рекомендуется следующее эмпирическое соотношение: кажущаяся мощность трансформатора

$$P_{\text{к}} = \frac{110 \times D_{\text{к.н}}^{3,32}}{\tau},$$

где $P_{\text{к}}$ - в киловольт-амперах;

$D_{\text{к.н}}$ - наружный диаметр кожуха в метрах;

τ - продолжительность плавления номинальной садки;

$$P_{\text{к}} = \frac{110 \times 5,58^{3,32}}{2} \approx 16300 \text{кВА}$$

По практическим данным для периода плавления

$$P_{\text{ср}} = 0,8P_{\text{к}} = 16300 \times 0,8 = 13040 \text{кВА}$$

Полезная мощность за период плавления

$$P_{\text{пол}} = P_{\text{ср}} \cos \varphi \eta_{\text{эл}} = 13040 \times 0,85 \times 0,90 = 9980 \text{кВт}$$

Здесь $\cos \varphi$ и $\eta_{\text{эл}}$ - средние значения для периода плавления. Если принять расход электрической энергии на плавление 1 т шихты, подогрев металла выше температуры плавления на 100° , плавление и подогрев шлака равным 440 кВт-ч, то для садки в 45 т потребуется $440 \times 45 = 19800$ кВт-ч. Для садки в 63 т потребуется $440 \times 63 = 27720$ кВт-ч.

В первом случае выбранный трансформатор обеспечит плавление за 1,98 час. ($19800:9980 = 1,98$ часа), или (округленно) за 2 часа; во втором случае за 2,77 часа ($27720 : 9980 = 2,77$ часа), или 2 час. 46 мин.

Выбор ступеней напряжения

При выборе верхней ступени вторичного напряжения рекомендуется следующее эмпирическое соотношение

$$U_{\text{л}} = 15 \sqrt[3]{P_{\text{к}}},$$

где $P_{\text{к}}$ — кажущаяся мощность трансформатора.

Для нашего примера $U_{л} = 15 \sqrt[3]{16300} \approx 380$ в. Для печей средней емкости (до 70 т) рекомендуется 8 ступеней напряжения, из них низшая не должна превышать 130 в. Плавное снижение мощности можно обеспечить при следующей величине промежуточных ступеней вторичного напряжения:

Треугольник		Звезда	
1 ступень	380 в	5 ступень (380:1,73)	219 в
2 ступень (380×0,85)	323	6 ступень (323:1,73)	186 в
3 ступень (323×0,85)	274 в	7 ступень (274:1,73)	158 в
4 ступень (274×0,85)	233 в	8 ступень (233:1,73)	134 в

Расчет диаметра электродов

Для трансформатора мощностью 16300 ква и вторичного напряжения 380в сила тока

$$I = \frac{16300 \times 1000}{380 \times 1,73} = 24790 \text{ А.}$$

Диаметр электрода определяется по формуле

$$D = \sqrt[3]{\frac{0,406 \times I^2 \times \rho}{k}} \text{ см,}$$

где I-сила тока;

ρ -удельное сопротивление электрода при 500⁰, для графитированных электродов $\rho = 10 \text{ ом/мм}^2 \times \text{м}$;

k—коэффициент для графитированных электродов $k=2,1 \text{ (вт/см}^2\text{)}$;

$$d = \sqrt[3]{\frac{0,406 \times 24790^2 \times 10}{2,1 \times 10^4}} = 49,2 \text{ см.}$$

Ближайший размер электродов, выпускаемых промышленностью, 500 мм. Сечение такого электрода равно 1912 см². Плотность тока для электрода диаметром 500 мм

$$\frac{I}{S} = \frac{24790}{1912} = 12,96 \text{ а / см}^2.$$

Останавливаем свой выбор на электроде диаметром 500 мм.

Диаметр распада электродов

Равномерность излучения на стены достигается, когда отношение диаметра распада электродов к диаметру зеркала ванны близко к 0,3.

Для нашего примера

$$d_{\text{расп}} = 0,3D = 0,3 \times 4250 = 1275 \text{ мм.}$$

Параметры, рекомендуемые для контроля правильности рассчитываемых величин

Анализ литературных данных позволил определить основные пределы технологических параметров дуговых сталеплавильных печей, которые необходимо учитывать при выполнении данного задания.

1. Толщина свода:
до 20 т – 230 мм; 20–40 т – 300 мм; более 40 т – 380-460 мм.
2. Толщина стен:
до 100 т – 450-550 мм; более 100т – 550-650 мм.
3. Мощность трансформатора, МВ А:
25 т – 15-20; 50 т – 20-32; 75 т – 30-45; 100 т – 30-50;
150 т - 45-60; 200 т – 60-80; 250 т – 90-120; 400 т – 200.
4. Самые крупные печи имеют высшую ступень напряжения 450-950 В, напряжение на нижней ступени не должно превышать 163 В.

Рекомендуемое напряжение на верхней ступени (В) и количество ступеней:

200-250 В – 2 - 4 ступени; 260-300 – 4 - 6 ступеней; 320-400 – 6 - 8 ступеней;

400-500 – 8-12 ступеней; 600 и более – до 23 ступеней.

Пределы напряжения в зависимости от садки печи:

1,5 т – 104-225 В; 3 т – 116-242 В; 6 т – 115-280 В; 12 т – 120-320 В;

25 т – 132-390 В; 50 т – 146-430 В; 100 т – 163-480 В.

5. Рекомендуемая плотность тока (А/см²) в зависимости от диаметра электрода, мм:

100 – 32; 150 – 26; 200 – 23; 250 – 21; 300 – 19; 350 – 18;

400 – 16; 500 – 15; 555 – 15; 610 – 12-14.

ВАРИАНТЫ НОМИНАЛЬНЫХ САДОК ПЕЧИ

<i>Вариант</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Ном. садка печи, т</i>	0,5	1	1,5	2	3	5	6	10	12	15
<i>Вариант</i>	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Ном. садка печи, т</i>	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
<i>Вариант</i>	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<i>Ном. садка печи, т</i>	70	75	80	90	100	130	150	200	220	250
<i>Вариант</i>	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
<i>Ном. садка печи, т</i>	280	120	95	290	230	160	300	350	360	400

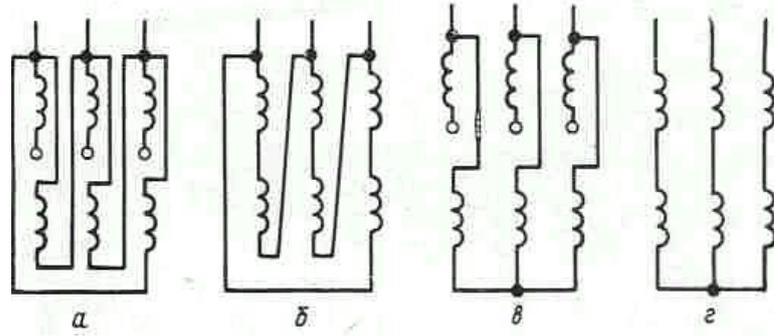


Рис. Схема соединения обмоток трансформатора.

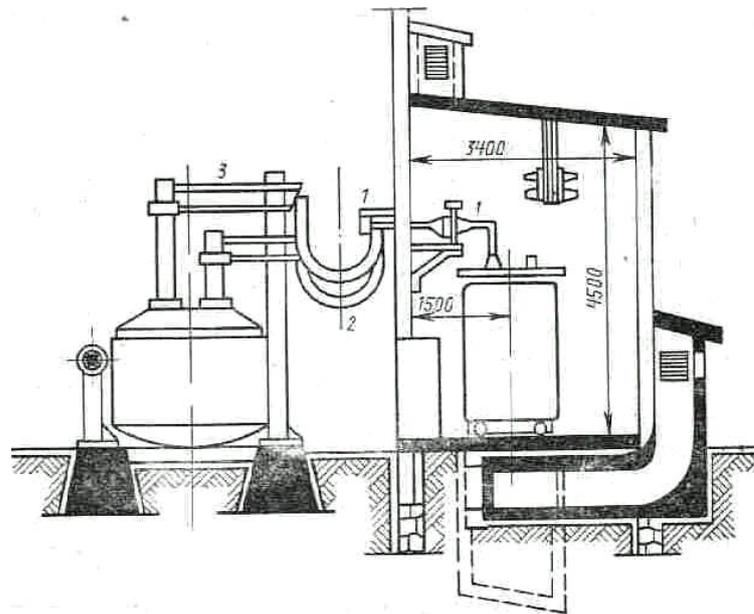


Рис. Короткая сеть дуговой печи.

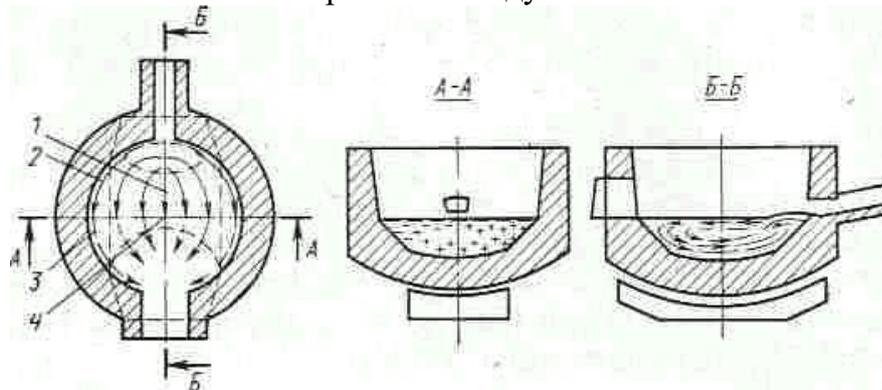


Рис. Электромагнитное перемешивание металла в дуговой печи

1 – скорость перемешивания (у поверхности ванны) 0,4 м/с; 2 – то же 0,6 м/с; 3 – то же 0,4 м/с; 4 – то же 0 м/с.

Вопросы для самоконтроля.

1. Где устанавливают трансформатор?
2. Какую форму ванны выполняют для удобства заправки пода?
3. Расскажите, чем оборудуют трансформатор?
4. Назначение трансформатора?
5. Какая толщина свода:
до 20 т – ? мм; 20–40 т – ? мм; более 40 т – ?мм.
6. Для чего на первичной обмотке трансформатора делают несколько отпаяек?
7. При помощи чего осуществляют переключение трансформатора с одной ступени на другую?
8. Благодаря чему, переключение под нагрузкой облегчается?
9. Назовите рекомендуемое напряжение на верхней ступени (В) и количество ступеней?
10. Назовите высшую ступень напряжения для самых крупных печей?

Использованная литература:

И.И.Борнацкий «Производство стали» 282-292