

Гупало Е.В. – ассистент, НМетАУ

Ольшанский В.М. – д-р техн. наук, проф., НМетАУ

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СУШКИ ТРУБ ПЕРЕД ГОРЯЧИМ ЦИНКОВАНИЕМ

Разработана методика расчета сушки офлюсованных труб перед горячим цинкованием. Предложена энергосберегающая технология сушки труб в прямо-противоточной печи и выполнена оценка ее эффективности. Показано, что применение предложенной технологии обеспечивает сокращение удельного расхода теплоты на нагрев сушильного агента на 33,7 % по сравнению с сушкой труб в прямо-точной или противоточной печах.

Введение

Сушка офлюсованных труб является заключительной стадией подготовки их поверхности к цинкованию. В качестве флюса используется водный высококонцентрированный раствор хлористого цинка $ZnCl_2$ и хлористого аммония NH_4Cl плотностью 1,35 – 1,6 г/л с содержанием $ZnCl_2$ более 45 %. Для повышения эффективности раствора флюса в него добавляют поверхностно-активные вещества (ОП-7, ОП-10 и др.).

Для сушки труб применяют проходные сушильные печи, которые обеспечивают высокую скорость сушки и оборудованы механизмами для поштучного перемещения труб внутри рабочего пространства. Ширина сушильных печей составляет 4,8 – 9,5 м, производительность до 25 т/ч [1]. В качестве сушильного агента используют продукты сгорания газообразного топлива, разбавленные холодным воздухом, или воздух, подогретый в отдельно стоящем электрокалорифере [1, 2].

Температуру сушильного агента, входящего в печь, поддерживают в пределах 150 – 250 °С, а температура поверхности высушенного изделия должна составлять 150 – 200 °С [1, 2], т.к. при температурах свыше 230 °С происходит разложение флюса с выделением соляной кислоты, что в итоге приводит к снижению качества покрытия.

Сушка офлюсованных труб представляет собой довольно энергоемкий процесс, оказывающий заметное влияние на качество и себестоимость готовой продукции. Например, для сушильной печи длиной 8,64 м и шириной 7,5 м при производительности 5 т/ч удельный рас-

ход теплоты на нагрев сушильного агента (воздуха) до температуры 250 °С составляет 673,8 кДж/кг [3].

Анализ научно-технической литературы показал, что процессу сушки офлюсованных труб уделяется недостаточно внимания, а известные методики расчетов не позволяют исследовать динамику рассматриваемого процесса.

Целью настоящей работы является разработка методики расчета процесса сушки офлюсованных труб в печи непрерывного действия и выбор энергосберегающей технология сушки труб перед горячим цинкованием.

Методика расчета процесса сушки офлюсованных труб в печи непрерывного действия

Для упрощения задачи принимаем, что в качестве флюса используется водный раствор хлористого цинка, в котором доля $ZnCl_2$ по массе составляет 54 %, а доля H_2O – 46 %.

Математическая модель процесса сушки офлюсованных труб в прямо- или противотоке включает уравнения теплового баланса:

– для элементарного участка печи длиной ΔL

$$\mp Q_1 \mp Q_2 \pm Q_3 - Q_4 - Q_5 - Q_6 - Q_7 - Q_8 - Q_9 - Q_{10} = 0; \quad (1)$$

– по материалу

$$\alpha_M (t_{cm} - t_M) F_M \Delta \tau = G_M C_M (t_{M2} - t_{M1}); \quad (2)$$

– по транспортирующим устройствам

$$\alpha_{ц} (t_{cm} - t_{ц}) F_{ц} \Delta \tau = G_{ц} C_{ц} (t_{ц2} - t_{ц1}). \quad (3)$$

Здесь и далее верхний знак применяется для противотока, нижний – для прямотока. Индексы 1 и 2 соответствуют началу и концу элементарного участка ΔL .

$Q_1 = C_{ca} t_{ca} (M_{ca2} - M_{ca1})$ – количество теплоты, подведенной на элементарный участок ΔL с сушильным агентом, Вт; C_{ca} , t_{ca} и M_{ca} – средняя удельная теплоемкость (Дж/(кг·К)), температура (°С) и массовый расход (кг/с) сушильного агента соответственно.

$Q_2 = C_{cm1} t_{cm1} [M_{ca1} \pm \Pi_M d_{ф} d_{вл} (D_v^* - D_{v1})]$ – количество теплоты, входящей в случае прямотока на элементарный участок (или выходящей в случае противотока из участка ΔL) с паровоздушной смесью, Вт; C_{cm} и t_{cm} – средняя удельная теплоемкость (Дж/(кг·К)) и температура (°С) паровоздушной смеси; $\Pi_M d_{ф} d_{вл} (D_v^* - D_v)$ – массовый расход испарившейся влаги, кг/с; Π_M – производительность

печи по металлическим трубам, кг/с; d_{ϕ} – удельная масса раствора флюса на поверхности трубы перед загрузкой ее в печь, кг_{флюса}/кг_{трубы}; $d_{\text{вл}}$ – массовая доля влаги (воды) в растворе флюса начальной концентрации, кг_{H2O}/кг_{флюса}; D_v – доля испарившейся влаги (воды) из пленки флюса; D_v^* – доля испарившейся влаги из пленки флюса, соответствующая для случая прямотока начальному моменту времени (например, в момент загрузки трубы в печь $D_v^* = D_{v0}$), для случая противотока – соответствующая окончанию процесса сушки (например, в момент выгрузки трубы из печи $D_v^* = D_{vk}$).

$Q_3 = C_{\text{см}2} t_{\text{см}2} [M_{\text{са}2} \pm \Pi_M d_{\phi} d_{\text{вл}} (D_v^* - D_{v2})]$ – количество теплоты, выходящей в случае прямотока из элементарного участка (или входящей в случае противотока на участок ΔL) с паровоздушной смесью, Вт.

$Q_4 = \Pi_M d_{\phi} d_c C_c (t_{\phi 2} - t_{\phi 1})$ – количество теплоты, затраченной на нагрев хлористого цинка на участке печи ΔL , Вт; d_c – массовая доля хлористого цинка в растворе флюса начальной концентрации, кг_{ZnCl2}/кг_{флюса}; C_c – средняя удельная теплоемкость хлористого цинка, Дж/(кг·К); t_{ϕ} – температура флюса, °С.

$Q_5 = \Pi_M d_{\phi} d_{\text{вл}} C_{\text{вл}} [t_{\phi 2} (1 - D_{v2}) - t_{\phi 1} (1 - D_{v1})]$ – количество теплоты, затраченной на участке печи ΔL на нагрев влаги, содержащейся в пленке флюса, от температуры $t_{\phi 1}$ до $t_{\phi 2}$, Вт; $C_{\text{вл}}$ – средняя удельная теплоемкость влаги (воды), Дж/(кг·К).

$Q_6 = \Pi_M d_{\phi} d_{\text{вл}} q_{\text{исп}} (D_{v2} - D_{v1})$ – количество теплоты, затраченной на испарение влаги на элементарном участке печи, Вт; $q_{\text{исп}}$ – удельная теплота испарения воды из раствора флюса, Дж/кг_{H2O}.

$Q_7 = \Pi_M d_{\phi} d_{\text{вл}} C_{\text{п}} (D_{v2} - D_{v1}) \cdot (t_{\text{см}} - t_{\phi})$ – количество теплоты, затраченной на нагрев пара, образующегося на участке ΔL , от температуры флюса t_{ϕ} до температуры паровоздушной смеси $t_{\text{см}}$, Вт; $C_{\text{п}}$ – средняя удельная теплоемкость водяного пара, Дж/(кг·К).

$Q_8 = \Pi_M C_M (t_{m2} - t_{m1})$ – количество теплоты, затраченной на нагрев труб на элементарном участке печи, Вт; C_M и t_M – средняя удельная теплоемкость (Дж/(кг·К)) и температура (°С) металла.

$Q_9 = \Pi_{\text{ц}} C_{\text{ц}} (t_{\text{ц}2} - t_{\text{ц}1})$ – количество теплоты, затраченной на нагрев транспортирующих устройств на участке печи ΔL , Вт;

$\Pi_{\text{ц}} = \Pi_{\text{м}} M_{\text{ц}}$ – производительность печи по транспортирующим устройствам, кг/с; $M_{\text{ц}}$ – отношение массы транспортирующих устройств к массе труб в печи, кг_ц/кг_{труб}; $C_{\text{ц}}$ и $t_{\text{ц}}$ – средняя удельная теплоемкость (Дж/(кг·К)) и температура (°С) транспортирующих устройств.

$Q_{10} = K_{\text{кл}} F_{\text{кл}} (t_{\text{см}} - t_{\text{окр}})$ – потери теплоты через футеровку элементарного участка печи, Вт; $K_{\text{кл}}$ – коэффициент теплопередачи через футеровку печи от паровоздушной смеси в окружающую среду, Вт/(м²·К); $F_{\text{кл}} = P \Delta L$ – площадь поверхности футеровки печи на участке ΔL , м²; P – периметр рабочего пространства печи, м; $t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, °С.

$\alpha_{\text{м}}$ и $\alpha_{\text{ц}}$ – коэффициенты теплоотдачи от паровоздушной смеси нагреваемому металлу и транспортирующим устройствам соответственно, Вт/(м²·К); $F_{\text{м}}$ и $F_{\text{ц}}$ – площадь тепловоспринимающей поверхности металла и транспортирующих устройств соответственно, м²; $G_{\text{м}}$ и $G_{\text{ц}}$ – масса металла и транспортирующих устройств соответственно, кг.

Принятые допущения:

1) температура флюса равна температуре металла ($t_{\text{ф}} = t_{\text{м}}$);

2) расход сушильного агента при его равномерном распределении по длине печи определяется из соотношения

$$M_{\text{са}} = b_0 \mp b_1 \tau, \text{ кг/с}; \quad (4)$$

3) коэффициенты теплоотдачи от паровоздушной смеси к металлу (трубам) и от паровоздушной смеси к транспортирующим устройствам равны друг другу, а изменение коэффициентов теплоотдачи в процессе сушки может быть представлено в виде

$$\alpha_{\text{ц}} = \alpha_{\text{м}} = b_2 \mp b_3 \tau \mp b_4 \tau^2 \mp b_5 \tau^3; \quad (5)$$

4) изменение коэффициента теплоотдачи от паровоздушной смеси к кладке печи

$$\alpha_{\text{кл}} = b_6 \mp b_7 \tau \mp b_8 \tau^2 \mp b_9 \tau^3; \quad (6)$$

5) изменение доли испарившейся влаги в процессе сушки описывается уравнением [3]

$$D_{\text{в}} = b_{10} + b_{11} \exp[-b_{12} \cdot (t_{\text{м}} - b_{13})], \quad (10)$$

где $D_{\text{в}}$ – доля испарившейся влаги; $t_{\text{м}}$ – температура металла, °С; b_{10} – b_{13} – эмпирические коэффициенты, полученные путем аппроксимации экспериментальной зависимости $D_{\text{в}} = f(t_{\text{м}})$;

$b_{10} = 0,858586$; $b_{11} = -0,864050$; $b_{12} = 1,776273 \cdot 10^{-4}$; $b_{13} = 23,093936$.

б) средняя удельная теплоемкость сушильного агента определяется по формуле

$$C_{ca} = \frac{C_{п} d_{ca} + C_{в}}{1 + d_{ca}}, \quad (7)$$

где d_{ca} – влагосодержание сушильного агента, кг_{пара}/кг_{сух.возд.}; $C_{в}$ – средняя удельная теплоемкость сухого воздуха, Дж/(кг·К);

7) теплоемкость паровоздушной смеси определяется как

$$C_{см} = \frac{M_{ca} C_{ca} \pm \Pi_{м} d_{ф} d_{вл} C_{вл} (D_v^* - D_v)}{M_{ca} \pm \Pi_{м} d_{ф} d_{вл} (D_v^* - D_v)}; \quad (8)$$

8) коэффициент теплопередачи через футеровку печи от паровоздушной смеси в окружающую среду определяется по формуле

$$K_{кл} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{кл}} + \frac{S_{кл}}{\lambda_{кл}} + \frac{1}{\alpha_{окр}}} = \frac{1}{\frac{1}{b_5 \mp b_6 \tau \mp b_7 \tau^2} + \frac{S_{кл}}{\lambda_{кл}} + \frac{1}{\alpha_{окр}}}, \quad (9)$$

где $S_{кл}$ – толщина футеровки печи, м; $\lambda_{кл}$ – коэффициент теплопроводности материала футеровки печи, Вт/(м·К); $\alpha_{окр}$ – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности футеровки печи в окружающую среду, Вт/(м²·К).

Подставив значения $Q_1 - Q_{10}$ в (1) и перейдя к дифференциальной форме записи уравнений (1) – (3), с учетом принятых допущений, получим:

$$\begin{aligned} \frac{dt_{см}}{d\tau} = & \frac{1}{M_{ca} C_{ca} \pm a_6 \left\{ D_v^* - b_{10} - b_{11} \exp \left[-b_{12} (t_m - b_{13})^2 \right] \right\}} \times \\ & \times \left\{ \mp b_1 (a_1 - C_{ca} t_{см}) \mp \alpha_m a_{11} b_{14} (t_m - b_{13}) \times \right. \\ & \times (t_{см} - t_m) [a_5 - (a_4 + a_6) t_m + 2a_6 t_{см}] \times \\ & \times \exp \left[-b_{14} (t_m - b_{13})^2 \right] \mp \alpha_m a_{11} (t_{см} - t_m) \times \\ & \times \left[a_3 + a_4 \left[1 - b_{10} - b_{11} \exp \left(-b_{12} (t_m - b_{13})^2 \right) \right] \right] \pm \\ & \pm \alpha_m a_9 a_{11} (t_{см} - t_m) \pm \alpha_m a_{10} a_{12} (t_{см} - t_{ц}) \pm \\ & \left. \pm \frac{a_7 (t_{см} - t_{окр})}{a_8 + 1/\alpha_{кл}} \right\}; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\frac{dt_m}{d\tau} = \alpha_m a_{11} (t_{см} - t_m); \quad (11)$$

$$\frac{dt_{\text{ц}}}{d\tau} = \alpha_{\text{м}} a_{12} (t_{\text{см}} - t_{\text{ц}}), \quad (12)$$

где $a_1 = C_{\text{са}} t_{\text{са}}$, $a_2 = \Pi_{\text{м}} d_{\text{ф}} d_{\text{вл}}$, $a_3 = a_2 C_{\text{с}}$, $a_4 = a_2 C_{\text{вл}}$, $a_5 = a_2 Q_{\text{исп}}$,
 $a_6 = a_2 C_{\text{п}}$, $a_7 = P W_{\text{м}}$, $a_8 = S_{\text{кл}} / \lambda_{\text{кл}} + 1 / \alpha_{\text{окр}}$, $a_9 = \Pi_{\text{м}} C_{\text{м}}$, $a_{10} = \Pi_{\text{ц}} C_{\text{ц}}$,
 $a_{11} = F_{\text{м}} / (G_{\text{м}} C_{\text{м}})$, $a_{12} = F_{\text{ц}} / (G_{\text{ц}} C_{\text{ц}})$, $b_{14} = 2 b_{11} b_{12}$,
 $K_{\text{кл}} = 1 / (a_8 + 1 / \alpha_{\text{кл}})$.

Система уравнений (10) – (12) решается численным методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности относительно неизвестных величин $t_{\text{см}}$, $t_{\text{м}}$, $t_{\text{ц}}$.

Коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{\text{м}}$, $\alpha_{\text{кл}}$, и $\alpha_{\text{окр}}$ определяются в соответствии с рекомендациями работ [4, 5] с учетом изменения расхода сушильного агента вдоль печи.

Энергосберегающая технология сушки офлюсованных труб

В условиях, когда часть отработанного сушильного агента используется для выполнения ряда технологических операций, в частности для подогрева ванн с раствором флюса, обезжиривающим и травильным растворами, а так же промывочной воды, предложена энергосберегающая технология сушки труб перед горячим цинкованием, согласно которой сушка труб осуществляется в прямо-противоточной печи, представленной на рис. 1.

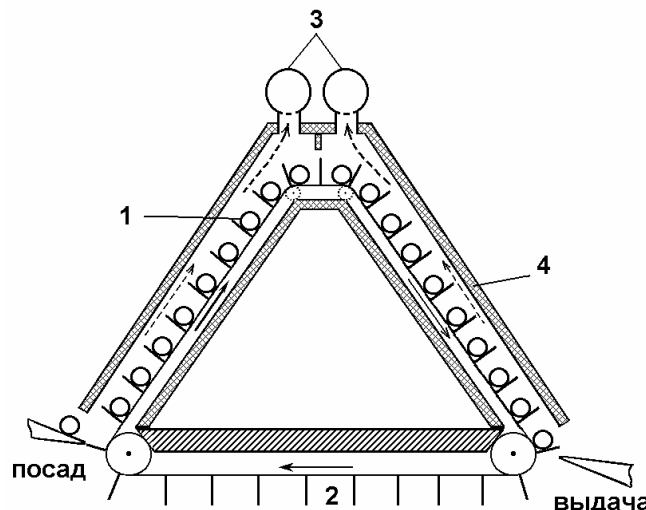


Рис. 1. Схема прямо-противоточной сушильной печи.
 1 – труба; 2 – транспортирующие устройства (цепной конвейер); 3 – отбор отработанного сушильного агента; 4 – футеровка печи

Воздух подается в рабочее пространство через сопла, расположенные в боковых стенах печи в шахматном порядке. Это обеспечивает обдув труб, как в продольном, так и поперечном направлениях, а также продувку их внутренней полости. Общая длина печи разделена на две зоны сушки равной длины: прямоточную и противоточную. Отбор сушильного агента осуществляется отдельно из каждой зоны. Причем отработанный сушильный агент из второй по ходу движения металла зоны (противоточной), имеющий более низкое влагосодержание, используется повторно в первой по ходу движения металла зоне (прямоточной) после промежуточного подогрева до исходной температуры 250 °С в дополнительном подогревательном электрокалорифере. Отработанный сушильный агент из первой по ходу движения металла (прямоточной) зоны используется для подогрева ванн с раствором флюса, обезжиривающим и травильным растворами, а так же промывочной воды.

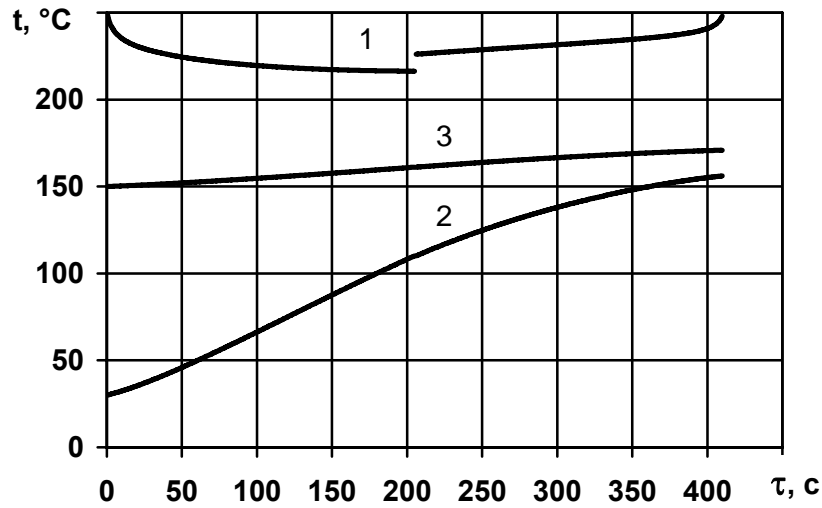
Исследование процесса сушки офлюсованных труб в прямо-противоточной печи

Для предложенной энергосберегающей технологии выполнен расчет процесса сушки труб диаметром 3/4" (наружный диаметр 0,027 м, толщина стенки 0,0025 м) и длиной 7 м в прямоточной и противоточной зонах печи для следующих исходных данных.

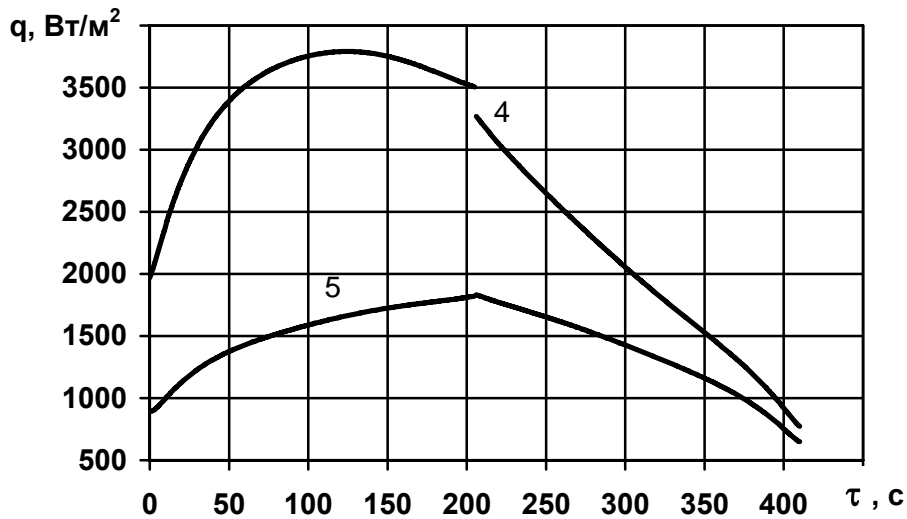
Производительность печи 1,3889 кг/с; длины прямоточной и противоточной зон 4,32 м при общей длине печи 8,64 м; продолжительность сушки в каждой зоне 205 с; количество труб в печи – 54 шт; отношение поверхности труб к их массе $F_M/G_M = 0,0506 \text{ м}^2/\text{кг}$; отношение поверхности транспортирующих устройств к их массе $F_{Ц}/G_{Ц} = 0,0177 \text{ м}^2/\text{кг}$; $M_{Ц} = 1,09593 \text{ кг}_{Ц}/\text{кг}_{\text{труб}}$; $w_M = 0,0211 \text{ м/с}$; $d_c = 0,54$; $d_{\text{вл}} = 0,46$; $d_{\text{ф}} = 3,9548 \cdot 10^{-3} \text{ кг}_{\text{флюса}}/\text{кг}_{\text{труб}}$. Геометрические размеры рабочего пространства сушильной печи: длина – 8,64 м; ширина – 7,5 м; высота – 0,4 м. Теплофизические свойства [4, 6, 7]: $C_{\text{вл}} = 4186,8 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $C_{\text{п}} = 2125 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $C_{\text{в}} = 1072,2 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $C_{\text{м}} = C_{\text{ц}} = 497,8 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $C_{\text{с}} = 481,86 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $\lambda_{\text{кл}} = 0,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $q_{\text{исп}} = 2374752,96 \text{ Дж}/\text{кг}$. Температура посяда металла (труб) $t_{\text{м0}} = 30 \text{ }^\circ\text{С}$. Температура и влагосодержание окружающей среды $t_{\text{окр}} = 20 \text{ }^\circ\text{С}$ и $d_{\text{окр}} = 10,306 \text{ г}/\text{кг}$ соответственно. Общее время сушки – 410 с. Расход сушильного агента на противоточную зону – 7068 кг/ч (или 5500 м³/ч) с начальной температурой $t_{\text{са}} = 250^\circ\text{С}$ и влагосодер-

жанием $d_{ca} = 10,306$ г/кг. Расход сушильного агента на прямоточную зону с учетом подсоса 10 % холодного воздуха на участке «печь – подогревательный электрокалорифер» составит 7776 кг/ч (или 6052 м³/ч).

Результаты расчета представлены на рис. 2 – 4.



(a)



(б)

Рис. 2. Температурная (а) и тепловая (б) диаграммы процесса сушки.

Температуры: 1 – паровоздушной смеси; 2 – металла;
3 – транспортирующих устройств.

Плотность тепловых потоков на поверхность: 4 – труб;
5 – транспортирующих устройств

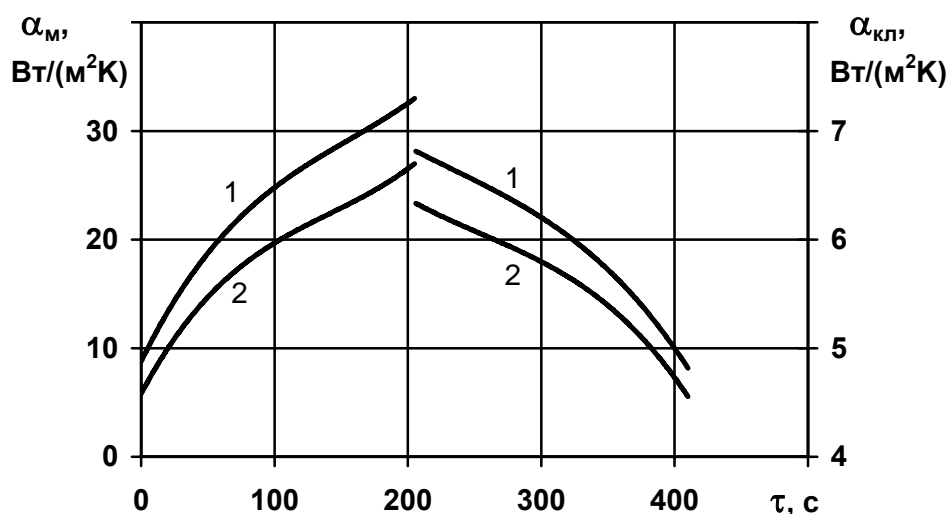


Рис. 3. Изменение коэффициентов теплоотдачи от паровоздушной смеси к металлу (1) и к футеровке (2)

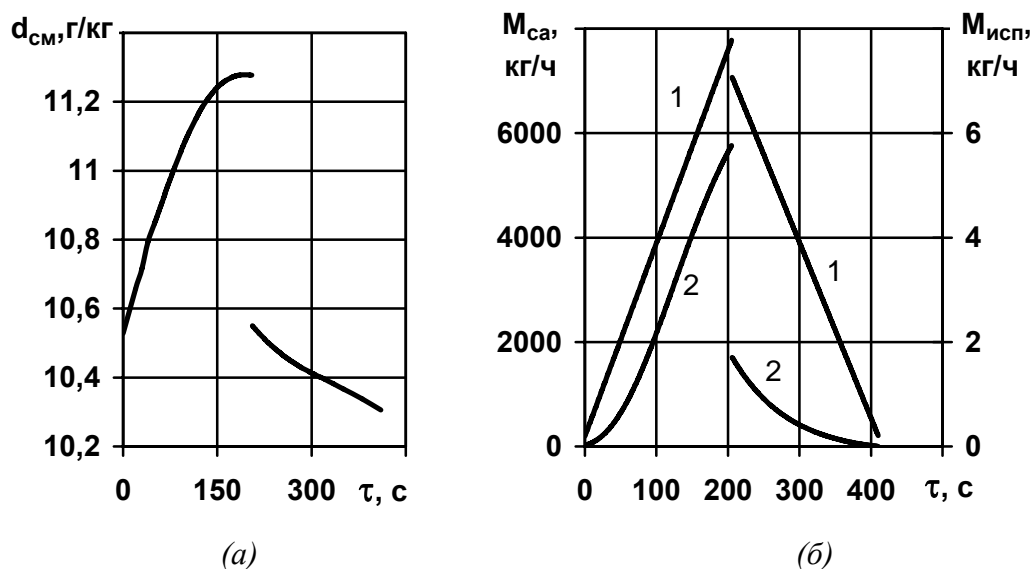


Рис. 4. Изменение влагосодержания паровоздушной смеси (рис. а), расходов сушильного агента и испарившейся влаги (рис. б).

Цифрами у кривых обозначены массовые расходы:
1 – сушильного агента; 2 – испарившейся влаги

Тепловой баланс печи приведен в таблице 1, из которой видно, что на процесс сушки и покрытие тепловых потерь рабочим пространством используется всего 11,55 % теплоты, внесенной в печь с сушильным агентом. Из них непосредственно на нагрев труб затрачивается 7,81 %, на процесс сушки пленки флюса – 0,51 %, на нагрев транспортирующих устройств и покрытие тепловых потерь 3,23 %.

Таблица 1

Тепловой баланс прямо-противоточной печи

Приход теплоты			Расход теплоты		
статья	кВт	%	статья	кВт	%
Теплота, внесенная в печь с сушильным агентом	1116,454	100,000	Теплота, уходящая из печи с отработанным сушильным агентом	987,780	88,453
			Теплота, усвоенная металлом	87,223	7,811
			Теплота, усвоенная транспортирующими устройствами	15,873	1,421
			Теплота, усвоенная флюсом	0,158	0,014
			Теплота, затраченная на испарение влаги	4,928	0,441
			Теплота, затраченная на нагрев испарившейся влаги до температуры паровоздушной смеси	0,622	0,056
			Тепловые потери рабочим пространством печи через кладку	20,147	1,804
ИТОГО	1116,454	100,000	ИТОГО	1116,731	100,000

Расчеты показывают, что удельные затраты теплоты на нагрев сушильного агента для прямоточной или противоточной печей аналогичной конструкции, согласно [8], составляют 673,8 кДж/кг, а для прямо-противоточной печи – 446,87 кДж/кг, что на 33,7 % меньше.

При использовании энергосберегающей технологии удельный расход теплоты с отработанным сушильным агентом, уходящим из прямоточной зоны печи составляет 506,85 кДж/кг_{труб}, из них для подогрева ванны флюсования, травильного и обезжиривающего растворов, а также промывочной воды при охлаждении сушильного агента до 80 °С может быть использовано 230 кДж/кг_{труб}, что полностью обеспечивает необходимые удельные затраты теплоты (200 – 220 кДж/кг_{труб}) на проведение вышеперечисленных технологических операций.

Выводы

1. Разработана методика расчета процесса сушки офлюсованных труб в печи проходного типа с распределенным подводом сушильного агента, учитывающая потери теплоты рабочим пространством в окружающую среду и с транспортирующими устройствами.

2. Предложена энергосберегающая технология сушки офлюсованных труб перед горячим цинкованием в прямо-противоточной печи, применение которой обеспечивает снижение удельных затрат теплоты на нагрев сушильного агента на 33,7 % по сравнению с прямо-точной или противоточной печами.

Список литературы

1. Руководство по горячему цинкованию / Под ред. Огинского М.И.: М. Metallургия, 1975. – 376 с.
2. Бакалюк Я.Х., Проскуркин Е.В. Трубы с металлическими противокоррозионными покрытиями.– М.: Metallургия, 1985. – 200 с.
3. Ольшанский В.М., Гупало В.И., Гупало Е.В., Гончар В.П., Ботюк О.Н., Ткаченко В.В. Разработка режима сушки труб перед горячим цинкованием // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 6. – С. 79 – 82.
4. Мاستрюков Б.С. Теплотехнические расчеты промышленных печей. – М.: Metallургия, 1972. – 368 с.
5. Лыков А.В. Массообмен: (Справочник). – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
6. Герасимов Я.И., Крестовиков А.И., Шахов А.С. Химическая термодинамика в цветной металлургии. – М.: Metallургиздат, Т. 1, 1960. – 230 с.
7. Нестеренко А.В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Высшая школа, 1965. – 395 с.
8. Ольшанский В.М., Гупало В.И., Гупало Е.В., Гончар В.П., Ботюк О.Н., Ткаченко В.В. Выбор теплотехнологической схемы сушки труб перед горячим цинкованием // Metallургическая теплотехника. Сб. научн. трудов НМетАУ. – Днепропетровск: НМетАУ. – 2000. – Т. 3. – С. 73 – 82.

Рукопись поступила 01.04.05.