

# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 7390

(13) U

(46) 2011.06.30

(51) МПК

F 27B 3/00 (2006.01)

F 27B 9/00 (2006.01)

F 27B 9/34 (2006.01)

(54)

## МЕТОДИЧЕСКАЯ ПРОХОДНАЯ ПЕЧЬ

(21) Номер заявки: u 20101044

(22) 2010.12.20

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

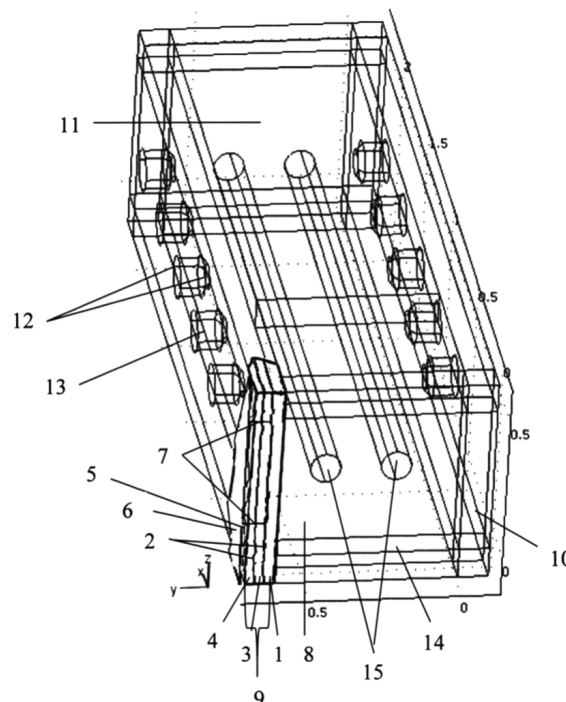
(72) Авторы: Менделев Дмитрий Владимирович; Трусова Ирина Александровна; Хлебцевич Всеволод Алексеевич; Ратников Павел Энгелевич; Корнеев Сергей Владимирович; Малькевич Наталья Геннадьевна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(57)

1. Методическая проходная печь, металлический кожух корпуса которой с воздушным зазором изнутри зафутерован послойной кладкой из чередующихся слоев волокнистого теплоизоляционного материала и огнеупорного материала, расположенных с увеличением температурного градиента от внутреннего объема рабочей камеры к металлическому кожуху корпуса печи, отличающаяся тем, что толщина металлического кожуха связана с величиной воздушного зазора между внешним слоем послойной кладки и кожухом следующим соотношением:

$$S = (-0,0542 \cdot \sigma^2 + 1,2168 \cdot \sigma + 40,818) \cdot t + (2,708 \cdot \sigma^2 - 58,659 \cdot \sigma - 2328,8),$$



Фиг. 1

ВУ 7390 U 2011.06.30

# BY 7390 U 2011.06.30

где  $\sigma$  - толщина металлического кожуха (мм);

$t$  - температура внешнего слоя футеровки (°C);

$S$  - величина воздушного зазора (мм) между металлическим кожухом и внешним слоем футеровки послойной кладки со степенью черноты ее поверхности  $\epsilon_2$ , при этом футеровка конструкции кладки выполнена из вертикальных слоев на основе упомянутых теплотехнических материалов в следующей последовательности от внутренней стенки рабочей камеры к наружной стенке: огнеупорный слой Fiberfrax Duraboard 140 ZK с температурой на границах слоя 1250-914 °C; клей Fixwool 1000; теплоизоляционный слой Fiberfrax Durafelt LD с температурой на границах слоя 914-405 °C; наружный теплоизоляционный слой Insulfrax S Blanket 160 с температурой на границах слоя 405-96 °C; воздушная прослойка с зазором 8-12 мм; собственно металлический кожух с температурой наружной поверхности от комнатной - 39 °C.

2. Методическая проходная печь по п. 1 **отличающаяся** тем, что футеровка конструкции кладки из вертикальных слоев на основе упомянутых теплотехнических материалов выполнена следующего типоразмера: огнеупорный слой Fiberfrax Duraboard 140 ZK толщиной 105-115 мм клей Fixwool 1000 толщиной, технологически заданной адгезией, теплоизоляционный слой Fiberfrax Durafelt LD толщиной 65-75 мм, наружный теплоизоляционный слой Insulfrax S Blanket 160 толщиной 25-35 мм, при этом упомянутые теплотехнические материалы присоединены к кожуху креплением типа RX2 или RX3.

(56)

1. Медников Ю.П., Дымов Г.Д., Рейхерт К.Н. Эксплуатация промышленных печей и сушил на газовом топливе. - Л.: Недра, 1982. - 231 с.

2. Патент BY 4210, 2008.

3. [http://www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/By+Trade+Name/C46553CE2F6E3E62802574200043DF88/\\$File/Fiberfrax%20Duraboard%20140%20Jan%2008.pdf](http://www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/By+Trade+Name/C46553CE2F6E3E62802574200043DF88/$File/Fiberfrax%20Duraboard%20140%20Jan%2008.pdf)

4. <http://izomat.ru/unifrax/fixwool/>

5. [http://www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/By+Trade+Name/790D5F4FDF24EEE80256FEF002F37DE/\\$File/Insulfrax%20S%20Blanket%20R2.pdf](http://www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/By+Trade+Name/790D5F4FDF24EEE80256FEF002F37DE/$File/Insulfrax%20S%20Blanket%20R2.pdf)

6. [http://www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/By+Trade+Name/E27C3C6075C2C3D480256FEF003ACE23/\\$File/Fiberfrax%20Durafelt%20April%202007.pdf](http://www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/By+Trade+Name/E27C3C6075C2C3D480256FEF003ACE23/$File/Fiberfrax%20Durafelt%20April%202007.pdf)

7. [http://izomat.ru/unifrax/moduls\\_block/](http://izomat.ru/unifrax/moduls_block/)

---

Полезная модель относится к металлургической и машиностроительной отраслям промышленности, в частности к способам и устройствам высокотемпературного нагрева металлических заготовок перед их последующей технологической обработкой.

Известны способы нагрева металла путем сжигания газообразного топлива в замкнутом объеме рабочей камеры проходной печи, стальной корпус которой послойно футерован на основе износостойких шамотных кирпичей и магнезитовых огнеупорных материалов [1].

Недостатками известного уровня техники являются значительный расход топлива на нагрев металла, значительная материалоемкость вследствие использования традиционных массивных материалов футеровки рабочей топливной камеры и пода печи, отсутствие, наличие в ней застойных зон, низкие коэффициенты лучистого и конвективного теплообмена.

Реализующие известные способы устройства - проходные методические нагревательные печи как следствие недостатков используемых способов нагрева обладают крайне низким термическим КПД.

Футеровка известных печей, как правило, изготовлена из традиционных теплозащитных материалов типа шамота, dinasового кирпича и т.п. с высокой теплоемкостью и теплопроводностью, что требует значительных расходов энергоресурсов для прогрева печи до рабочих температур. Эти энергозатраты особенно существенны для проходных печей с

## ВУ 7390 U 2011.06.30

циклическим режимом работы. Кроме того, в печах с большой теплоемкостью футеровки технически весьма сложно провести регулирование темпа набора температуры заготовкой при ее нагреве, что затрудняет достижение высокого качества конечной продукции. Используемые в них традиционные инжекционные факельные горелки, как правило, создают в объеме печи локальные зоны высокой температуры, которые определяют возникновение мощных локальных тепловых потоков, приводящих к разрушению футеровки и температурным деформациям заготовок, т.е. к браку. С локальными тепловыми потоками борются в основном путем увеличения внутреннего объема печи, что приводит к снижению полезного использования тепла дымовых газов собственно на нагрев металла, в результате чего генерированное тепло используется неэффективно. Совокупность вышеперечисленного приводит к тому, что существующие технологии нагрева металла чрезмерно энергозатратны и имеют очень низкий тепловой КПД (5-15 %).

Известны новые волокнистые, на базе муллитокремнеземистых и базальтовых волокон с применением высокотемпературных неорганических связующих, футеровочные и теплоизоляционные материалы, сочетающие в себе высокотемпературные, огнеупорные и изоляционные свойства, низкую теплопроводность и тепловую инерционность, и способы их использования в существующем парке термического оборудования вместо традиционных футеровочных материалов.

Результаты исследований теплообменных и гидродинамических технологических режимов нагревательной методической печи, принятой за прототип, металлический кожух корпуса которой с воздушным зазором изнутри зафутерован послойной кладкой из чередующихся слоев волокнистого теплоизоляционного материала и огнеупорного материала, расположенных с увеличением температурного градиента от внутреннего объема рабочей камеры к металлическому кожуху корпуса печи. Послойная футеровка корпуса используется как для проходных печей, так и для камерных печей преимущественно на основе муллитокремнеземистых и базальтовых волокон с применением высокотемпературных неорганических связующих [2].

Прототип, как и известные печи, вследствие несовершенства конструкции футеровки обладает значительными тепловыми потерями из-за отсутствия технологии конструирования оптимизации послойной футеровки и значительно высокой температуры до 100 °С на кожухе печи.

Прототип также обладает недостаточно высоким теплотехническим коэффициентом печи, что приводит к нестационарности теплового баланса печного пространства, повышенному расходу топлива, к снижению производительности и качества из-за неоднородности температурного поля, показывает, что известные печи обладают значительными тепловыми потерями из-за отсутствия технологии конструирования оптимизации послойной футеровки и значительно высокой температуры до 100 °С на кожухе печи.

За счет совершенствования прототипа путем изменения конструкции кладки футеровки и ее материала можно добиться снижения материалоемкости, улучшения равномерности и качества нагрева заготовок и существенного снижения расхода топлива.

Технической задачей полезной модели является разработка комплексной технологии и конструктива для обеспечения повышения энергоэффективности и производительности газопламенных проходных печей.

Техническая задача реализуется тем, что в конструкции футеровки методической проходной печи, металлический кожух корпуса которой с воздушным зазором изнутри зафутерован послойной кладкой из чередующихся слоев волокнистого теплоизоляционного материала и огнеупорного материала, расположенных с увеличением температурного градиента от внутреннего объема рабочей камеры к металлическому кожуху корпуса печи, согласно полезной модели, толщина металлического кожуха связана с величиной воздушного зазора между внешним слоем послойной кладки и кожухом следующим соотношением:

$$S = (-0,0542 \cdot \sigma^2 + 1,2168 \cdot \sigma + 40,818) \cdot t + (2,708 \cdot \sigma^2 - 58,659 \cdot \sigma - 2328,8),$$

# BY 7390 U 2011.06.30

где  $\sigma$  - толщина металлического кожуха (мм);

$t$  - температура внешнего слоя футеровки ( $^{\circ}\text{C}$ );

$S$  - величина воздушного зазора (мм) между металлическим кожухом и внешним слоем футеровки послойной кладки со степенью черноты ее поверхности  $\epsilon_2$ , при этом футеровка конструкции кладки выполнена из вертикальных слоев на основе упомянутых теплотехнических материалов в следующей последовательности от внутренней стенки рабочей камеры к наружной стенке: огнеупорный слой Fiberfrax Duraboard 140 ZK с температурой на границах слоя 1250-914  $^{\circ}\text{C}$ ; клей Fixwool 1000; теплоизоляционный слой Fiberfrax Durafelt LD с температурой на границах слоя 914-405  $^{\circ}\text{C}$ ; наружный теплоизоляционный слой Insulfrax S Blanket 160 с температурой на границах слоя 405-96  $^{\circ}\text{C}$ ; воздушная прослойка с зазором; собственно металлический кожух с температурой наружной поверхности от комнатной - 39  $^{\circ}\text{C}$ .

В конструкции футеровки методической проходной печи кладка из вертикальных слоев на основе упомянутых теплотехнических материалов выполнена следующего типоразмера: огнеупорный слой Fiberfrax Duraboard 140 ZK толщиной 105-115 мм, клей Fixwool 1000 толщиной, технологически заданной адгезией, теплоизоляционный слой Fiberfrax Durafelt LD толщиной 65-75 мм, наружный теплоизоляционный слой Insulfrax S Blanket 160 толщиной 25-35 мм, при этом упомянутые теплотехнические материалы присоединены к кожуху креплением типа RX2 или RX3.

Технический результат полезной модели проявляется в наличии новой конструкции кладки, послойная футеровка конструкции которой выполнена из неочевидной совокупности вертикальных слоев на основе упомянутых теплотехнических материалов, прецизионно изменяющая оптические характеристики высокотемпературного рабочего пространства печи, влияющие на улучшение качества и эффективность процесса нагрева.

Для лучшего понимания полезной модели она поясняется чертежом, где:

фиг. 1 - общий вид конструкции топливной камеры методической проходной печи для нагрева металлических заготовок для последующего формообразования изделий;

фиг. 2 - конструкция разреза многослойной кладки футеровки топливной камеры методической проходной печи;

фиг. 3 - зависимость плотности теплового потока на внешней поверхности футеровки от ее толщины;

фиг. 4 - представлена величина экономии теплового потока на внешней поверхности слоя футеровки в зависимости от увеличения ее толщины;

фиг. 5 - представлена зависимость оптимальной температуры внешней поверхности слоя футеровки от температуры печи;

фиг. 6 - представлен конструктив металлического кожуха и его взаимосвязь с величиной воздушного зазора между внешним слоем послойной кладки и кожухом.

Конструкция футеровки методической проходной печи, металлический кожух корпуса топливной камеры которой по фиг. 1 изнутри облицован многослойной кладкой на основе огнеупоров, клея, теплоизоляторов, при этом толщина металлического кожуха связана с величиной воздушного зазора между внешним слоем послойной кладки и кожухом следующим соотношением:

$$S = (-0,0542 \cdot \sigma^2 + 1,2168 \cdot \sigma + 40,818) \cdot t + (2,708 \cdot \sigma^2 - 58,659 \cdot \sigma - 2328,8),$$

где  $\sigma$  - толщина металлического кожуха (мм);

$t$  - температура внешнего слоя футеровки ( $^{\circ}\text{C}$ );

$S$  - величина воздушного зазора (мм) между металлическим кожухом и внешним слоем футеровки послойной кладки со степенью черноты ее поверхности  $\epsilon_2$ ;

огнеупорный слой 1 Fiberfrax Duraboard 140 ZK с температурой на границах слоя 1250-914  $^{\circ}\text{C}$  [3]; клей 2 Fixwool 1000 [4];

теплоизоляционный слой 3 Fiberfrax Durafelt LD с температурой на границах слоя 914-405  $^{\circ}\text{C}$  [5];

# BY 7390 U 2011.06.30

наружный теплоизоляционный слой 4 Insulfrax S Blanket 160 с температурой на границах слоя 405-96 °С [6];

воздушная прослойка 5 с зазором  $S = 8-12$  мм;

собственно металлический кожух 6 с температурой наружной поверхности от комнатной - 39 °С.

Опытно-экспериментальным путем выявлена толщина металлического кожуха, связанная с величиной воздушного зазора воздушной прослойки 5 между наружным теплоизоляционным слоем 4 послойной кладки и металлическим кожухом 6 следующим соотношением:

$$S = (-0,0542 \cdot \sigma^2 + 1,2168 \cdot \sigma + 40,818) \cdot t + (2,708 \cdot \sigma^2 - 58,659 \cdot \sigma - 2328,8),$$

где  $\sigma$  - толщина металлического кожуха (мм);

$t$  - температура внешнего слоя футеровки (°С);

$S$  - величина воздушного зазора (мм) между металлическим кожухом и внешним слоем футеровки послойной кладки со степенью черноты ее поверхности  $\epsilon_2$ .

Опытно-промышленные исследования выявили оптимальные параметры многослойной футеровки корпуса топливной камеры проходной печи из упомянутых теплотехнических материалов, которые подчинены следующему типоразмерному закону интервальной размерной технологической цепочки: огнеупорный слой 1 Fiberfrax Duraboard 140 ZK имеет параметры толщин в интервале 105-115 мм; клей 2 Fixwool 1000 имеет параметры толщин в интервале технологически заданных его максимальной адгезией; теплоизоляционный слой 3 Fiberfrax Durafelt LD имеет параметры толщин в интервале 65-75 мм; наружный теплоизоляционный слой 4 Insulfrax S Blanket 160 имеет параметры толщин в интервале 25-35 мм, при этом упомянутые теплотехнические материалы присоединены к кожуху креплением 7 типа RX2 или RX3 [7].

Повышение энергоэффективности и производительности осуществляется путем следующей технологии и конструктива топливной камеры проходной печи, слои которой расположены с возрастанием жаростойкости и огнеупорности от наружной стенки печи к ее внутреннему объему.

Проходная печь по фиг. 1 с упомянутой конструкцией футеровки топливной камеры 8 состоит из следующих основных узлов: металлического кожуха 6 с многослойной кладкой 9 топливной камеры 8 и стенками 10, в которых или в своде 11 которых выполнены окна 12 для монтажа блоков горелок и смонтирован блок горелок 13 в зависимости от технологии нагрева. Корпус нагревательной печи представляет собой сварной каркас из уголка, обшитый кожухом 6 из листовой стали, который является основанием для монтажа кладки 9 многослойной футеровки. В стенках 10 выполнены окна 12 для монтажа блоков горелок 13. Конструкция печи обеспечивает непрерывный или периодический принцип нагрева на поду 14 заготовок 15. Для различных типоразмеров заготовок 15 составляется соответствующая технологическая карта нагрева.

При выборе оптимального варианта конструирования футеровки печи предварительно осуществляют величину потерь через ограждающие конструкции в существующих агрегатах. Анализ тепловой работы методических печей, работающих в непрерывном режиме, показывает, что футеровка при таких условиях находится практически в стационарном состоянии, т.е. ее температурное поле не изменится во времени. Потери на разогрев весьма незначительны независимо от конструкции, и ими можно пренебречь.

Иначе обстоит ситуация в печах периодического типа действия. Даже при нормальном режиме работы состояние температурного поля футеровки не стационарно: периоды разогрева чередуются с периодами охлаждения во время выгрузки нагретых и загрузки холодных деталей и заготовок. При этом футеровка теряет, а затем аккумулирует часть теплоты, которая подается в печь.

Аналогичная ситуация может возникать в печах обоих типов при разогреве после остановки. Количество теплоты, пошедшее на разогрев кладки или аккумулированное ею, зависит от массы (плотности) и теплоемкости футеровочных материалов.

Соблюдение требований техники безопасности при работе с высокотемпературным технологическим оборудованием требует, чтобы температура на наружных поверхностях печи (контактирующая с поверхностью тела рабочего) не превышала допустимого уровня 38-40 °С.

Оптимальный вариант футеровки был экспериментально выявлен исходя из соотношения сумм капитальных и эксплуатационных затрат. В качестве периода, за который следует сравнивать затраты при использовании различных футеровочных материалов, оценивают продолжительность эксплуатации без капитального ремонта одного из технологических вариантов, обладающего наибольшей стойкостью при работе в данных условиях. Принимая данный вариант за эталон, все прочие оценивают путем сравнения соответствующих капитальных и эксплуатационных затрат за данный период.

Суммарные капитальные и эксплуатационные затраты составят:

$$Z = Z_k + Z_o = C_\phi \times F_\phi + m \times n \times C_\phi \times F_\phi', \quad (1)$$

где  $F_\phi'$  - площадь, на которой осуществляется замена огнеупорного слоя футеровки во время ремонта, м<sup>2</sup>;  $n$  - количество замен огнеупорного слоя в год;  $m$  - стойкость футеровки (без капитального ремонта), лет;  $C_\phi$ ,  $F_\phi$  - стоимость одного квадратного метра с учетом монтажа (долл. США/м<sup>2</sup>) и площадь огнеупорного слоя футеровки.

Сравнивая данные величины и варьируя материал, из которого может быть выполнен огнеупорный слой футеровки печи, определяют оптимальный вариант.

При оценке оптимальности конструкции футеровки в проходных печах периодического типа помимо капитальных и эксплуатационных затрат учитывают стоимость топлива, которое используется на разогрев печи в начале работы, и количество теплоты, которое аккумулируется кладкой в процессе работы. Следовательно, в формуле (1) добавится еще одно слагаемое  $Z_T$  (затраты на топливо), которое может быть определено следующим образом:

$$Z_T = C_T \left( \frac{Q_{\text{акк}} \cdot f + Q_{\text{раз}} \cdot k}{Q_p^H} \right), \quad (2)$$

где 
$$Q_{\text{акк(раз)}} = V_i \rho_i \bar{c}_i (\overline{t_i^{\text{кон}}} - \overline{t_i^{\text{нач}}}), \quad (3)$$

где  $C_T$  - стоимость 1 м<sup>3</sup> или 1 кг топлива;  $Q_{\text{акк(раз)}}$  - теплота, затраченная на разогрев печи после остановки или аккумулированная кладкой;  $V_i$ ,  $\rho_i$ ,  $\bar{c}_i$  - объем, плотность и средняя теплоемкость соответственно каждого слоя футеровки;  $\overline{t_i^{\text{кон}}}$ ,  $\overline{t_i^{\text{нач}}}$  - средние значения конечной и начальной (для случаев разогрева после простоя и нагрева при нормальном режиме работы печи принимаются различные значения) температуры каждого слоя;  $f$  и  $k$  - количество технологических циклов работы печи и разогрева после простоев соответственно.

Затраты топлива на нагрев кладки из различных материалов существенно зависят от их теплоемкости и плотности (массы футеровки). Кроме того, важным фактором в данной технологии является время охлаждения футеровки при выгрузке нагретых деталей и загрузке новых, т.е. теплота, аккумулированная кладкой, зависит как от теплофизических свойств материалов, так и от применяемой технологии, которая определяет продолжительность цикла "охлаждение-нагрев".

Расход условного топлива на нагрев на 100 °С 1 м<sup>2</sup> футеровки, выполненной из современных волокнистых материалов, минимум на порядок ниже при аналогичных условиях для футеровок из традиционных теплоизоляционных материалов.

Ниже выполнен расчет технологии нагрева волокнистых футеровок вышеуказанных производителей по закону Фурье с целью определения соотношений "толщина слоя - температура внешней поверхности слоя - плотность теплового потока".

Из конструирования огнеупоров известно, что зависимость теплопроводности огнеупоров от температуры задается формулой:

$$\lambda(T) = a + bT + cT^2 + dT^{-1}, \quad (4)$$

# BY 7390 U 2011.06.30

где  $a, b, c, d$  - безразмерные коэффициенты, различные для каждого вида огнеупора;  $T$  - абсолютная температура, К.

Стационарное одномерное уравнение теплопроводности имеет вид

$$q = -\lambda(T) \frac{dT}{dx}. \quad (5)$$

Интегральное выражение дифференциального уравнения (5) с учетом (4) имеет вид:

$$q\delta = a_1(T_{\text{внутр}} - T_{\text{внешн}}) + \frac{b_1(T_{\text{внутр}}^2 - T_{\text{внешн}}^2)}{2} + \frac{c_1(T_{\text{внутр}}^3 - T_{\text{внешн}}^3)}{3} + d_1(\ln T_{\text{внутр}} - \ln T_{\text{внешн}}), \quad (6)$$

где  $\delta$  - толщина слоя футеровки, м;  $T_{\text{внутр}}, T_{\text{внешн}}$  - внутренняя и внешняя температура слоя футеровки, К.

Решение уравнения (5) осуществлено численным методом. Уравнение (4) заменяют интерполяционной функцией, составленной по табличным значениям теплопроводности конкретного материала от температуры. Все табличные значения теплопроводностей волокнистых материалов были измерены производителем согласно действующему международному стандарту ENV 1094-7:1993. Расчет произведен для  $T_{\text{внутр}} = 1273,15$  К.

На фиг. 3 представлена зависимость плотности теплового потока на внешней поверхности футеровки от ее толщины. Указанная зависимость построена на основе исследования теплотехнических характеристик наиболее перспективных современных волокнистых материалов следующего типа:

МКРВ-200 (-▲-); МКРФ-100 (-▲-); МКРФ-1 (-☒-); МКРПГ-400 (-☒-);  
ШПГТ-450 (-☉-); МКРП-340 (-▲-); МКРК-500 (-➔-); FOAMFRAX (-✱-);  
FIBERFRAX BONDED-S (-●-); DURABOARD LD (-▲-); DURAFELT LD (-☉-);  
PRISMO-BLOCK-S (-☒-); INSULFRAX S (-●-).

Кривые зависимостей из данного типа характеризуют волокнистые материалы FIBERFRAX BONDED-S, DURABOARD LD, DURAFELT LD как обладающие лучшими показателями плотности теплового потока на внешней поверхности футеровки от ее толщины.

Аналогично на фиг. 4, представлена величина экономии теплового потока на внешней поверхности слоя футеровки в зависимости от увеличения ее толщины. Указанная зависимость построена на основе исследования теплотехнических характеристик наиболее перспективных современных волокнистых материалов следующего типа:

МКРВ-200 (-▲-); МКРФ-100 (-▲-); МКРФ-1 (-☒-); МКРПГ-400 (-☒-);  
ШПГТ-450 (-☉-); МКРП-340 (-▲-); МКРК-500 (-➔-); FOAMFRAX (-✱-);  
FIBERFRAX BONDED-S (-●-); DURABOARD LD (-▲-); DURAFELT LD (-☉-);  
PRISMO-BLOCK-S (-☒-); INSULFRAX S (-●-).

График на фиг. 4 характеризует, что для обозначенных выше волокнистых футеровок величина снижения теплового потока при последовательном увеличении значения толщины с 0,25-0,35 м на 0,05 м составляет менее 1 % при температуре печи 1273,15 К. Это означает, что при увеличении толщины футеровки с 0,25 до 0,5 м снижение теплового потока в среднем составит менее 5 %. При этом стоимость футеровки возрастет в 2 раза.

На основании вышеизложенного температурный диапазон применения волокнистой футеровки при температуре печи 1273,15 К ограничивается 55-75 °С на ее внешней поверхности. При больших значениях температуры печи используется графическая зависимость, отображенная на фиг. 4.

На фиг. 5 представлена зависимость оптимальной температуры внешней поверхности слоя футеровки от температуры печи.

Для достижения необходимой температуры на внешней поверхности футеровки печи, согласно санитарным правилам, требуется обшить футеровку печи кожухом. При этом воздушная прослойка между кожухом и внешней поверхностью футеровки предпочтительно составляет до 10 мм при температуре печи 1623,15 К.

Футеровка кладки 9 по фиг. 1 представляет собой плиты из выявленного предпочтительного типоряда огнеупорного волокнистого теплоизоляционного материала, закрепленного на корпусе и поде проходной печи.

Печь питается от трехфазной сети переменного тока 220/380 В через автомат (при включении загорается индикаторная лампа "Питание" и подается напряжение ~ 220 В на дополнительные розетки). Для управления и контроля за технологическим процессом работы проходной печи используется специально разработанная автоматическая система управления на базе модулей распределенного сбора данных и управления, например, фирмы Advantech ADAM-4000. Визуализация процессов управления осуществляется на экране монитора промышленного компьютера. Выбор режимов работы печи, а также управление некоторыми технологическими процессами осуществляют по командам оператора, вводимым при помощи клавиатуры и "мыши" компьютера.

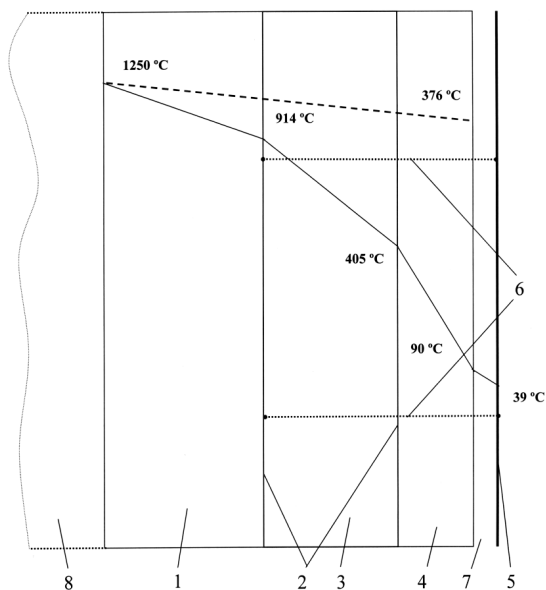
Сравнительные характеристики конструкции кладки и футеровки корпуса топливной камеры известной проходной печи по фиг. 2 и конструкция кладки и футеровки топливной камеры новой печи по фиг. 3, 4 с очевидностью выявляют преимущество новой печи. Уменьшение толщины футеровки в новой печи всего лишь на 23 мм и введение в конструкцию футеровки новой совокупности теплотехнических материалов с одновременным изменением конструкции кладки в целом привели к неочевидному улучшению теплотехнических характеристик печи. Об этом свидетельствует графическое изображение значений замера температур по толщине футеровки.

При одинаковом значении температуры 1200 °С внутри базовой и новой печи наблюдается значительное снижение температуры на броне с 95 до 30 °С.

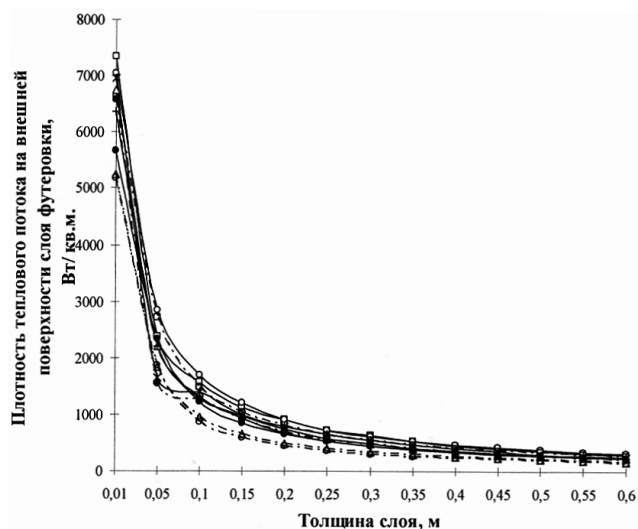
Изменение материала и схемы конструкции кладки позволило увеличить адгезию футеровки.

Исходя из вышеизложенного, полноценная реализация предлагаемых в полезной модели способа повышения энергоэффективности и производительности нагревательных проходных печей и конструктивных решений кладки топливной камеры позволит достичь декларируемых целей и задач и в совокупности сокращает потребление топлива нагревательной печью до 40-45 % и повышает КПД проходной печи до 35-40 %, что значительно повышает качество нагрева заготовок и готовых изделий и, следовательно, их реализуемость и конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках.

Новая конструкция проходной печи проходит опытно-промышленное освоение на предприятиях Беларуси.



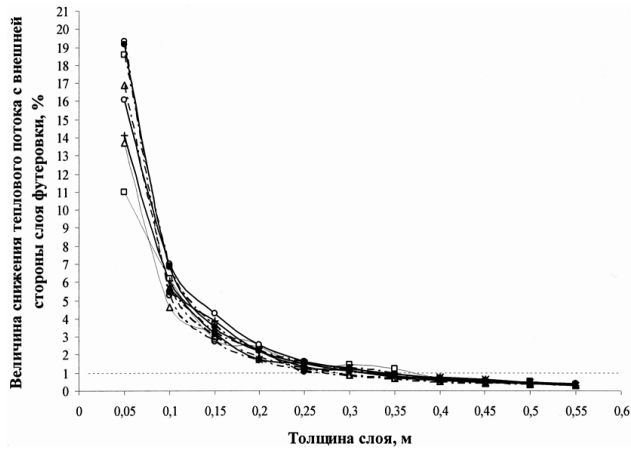
Фиг. 2



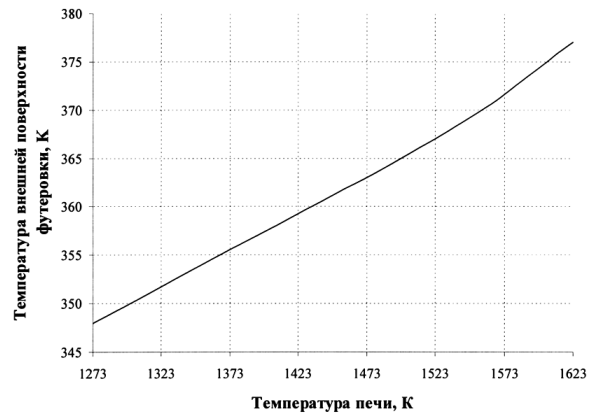
Фиг. 3



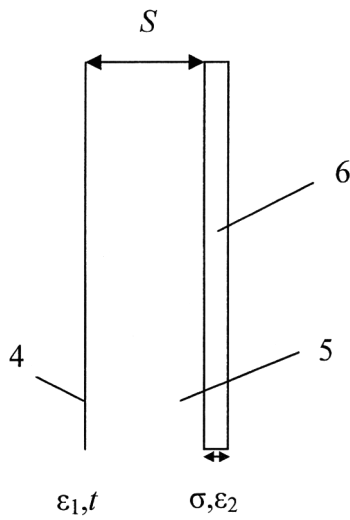
# ВУ 7390 U 2011.06.30



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6