УДК 669.1:536

Наука

С. А. Карпенко
Союзэнерго
Л. П. Грес /д. т. н./, А. Е. Быстров,
Л. А. Воробьёва /к. т. н./, М. Ю. Иванов
Национальная металлургическая академия
Украины

Исследование и совершенствование насадок регенераторов путем выбора рациональных размеров ячеек

Рассмотрено влияние изменения размеров ячеек (диаметра канала) и межцентрового расстояния между ними на изменение удельной поверхности нагрева насадок регенераторов, а также их «живого» сечения, удельного объема кирпича и эквивалентной полутолщины стенки между ячейками, минимальной толщины последней. (Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.)

Ключевые слова: *насадки регенератов, размер ячеек, нагрев.*

It's verified there is an impact of cell dimensions' variation (diameter of checker flue) and on center between them upon the change of specific heating surface of checker works and also open area, specific brick volume and equivalent half thickness of wall between cells, minimal thickness of the latter.

Key words: *nozzle regenerators, cell size, heating.*

С целью снижения материалоемкости насадок регенераторов в последние годы уменьшают размеры их ячеек, межцентровое расстояние между ними, что вызывает увеличение удельной поверхности нагрева, удельного объема кирпича.

В работе [1] авторы показали, что если основание ℓ прямого куба, межцентровое расстояние x между отверстиями ячеек насадки изменить в k раз, а диаметр ячеек – в p раз, причем $p \neq k$

$$\ell_2 = k \cdot \ell;\ x_2 = k \cdot x;\ d_2 = p \cdot d = \varepsilon \cdot k \cdot d, \tag{1}$$

где

$$\varepsilon = \frac{p}{k}, \text{ а } \ p = \varepsilon \cdot k, \tag{2}$$

то удельное живое сечение изменится в ε^2 раз.

Если $p > k$ и $\varepsilon > 1$, удельное живое сечение S_2 увеличится в ε^2 раз.

$$S_2 = S \cdot \varepsilon^2. \tag{3}$$

В работе [1] показано, что измененная удельная поверхность нагрева F_2 и первоначальная удельная поверхность F связаны соотношением:

$$F_2 = F \cdot \frac{\varepsilon}{k}. \tag{4}$$

Если $d_1 \cdot \varepsilon > x_1$, то каналы перекрываются, поверхность нагрева уменьшается.

При достаточно больших ε сечение, занятое телом насадки, исчезает, оно распадается на отдельные волокна:

$$S \to 1,\ \ F \to 0. \tag{5}$$

Удельная поверхность нагрева насадки Каупера с квадратными ячейками размером d [2] с действительной толщиной кирпича δ:

$$F = \frac{4 \cdot d}{(d + \delta)^2} \tag{6}$$

На основании зависимостей для параметров шестигранной насадки с круглыми отверстиями [3] получим данные, близкие к определенным по зависимостям (1)–(14) из [1]:

– удельная поверхность нагрева, $\frac{м^2}{м^3}$:

$$F = \frac{4 \cdot S}{d}; \tag{7}$$

– удельное живое сечение насадки, $\frac{м^2}{м^2}$:

$$S = 1 - V_к = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot x^2}, \tag{8}$$

где $V_к$ – удельный объем кирпича, $\frac{м^3}{м^3}$;

– расстояние между отверстиями:

$$x = d + \delta_{\min}; \tag{9}$$

– эквивалентная полутолщина стенки в блоке [2], м:

$$r_э = (1 - S) \cdot \frac{d}{4 \cdot S}. \tag{10}$$

Зависимости параметров насадочного блока от диаметра канала приведены на рис. 1 и 2.

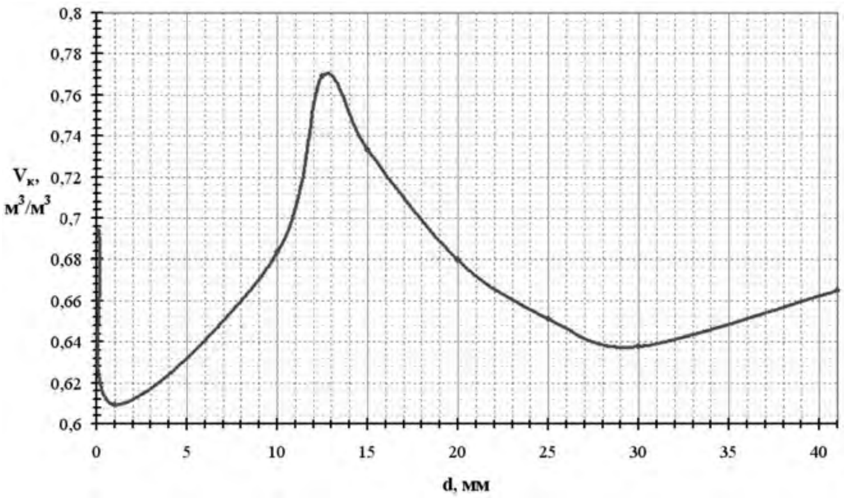

Рис. 1. Зависимость удельного объема кирпича ($V_к$, $\frac{м^3}{м^3}$) от диаметра канала (d, мм)

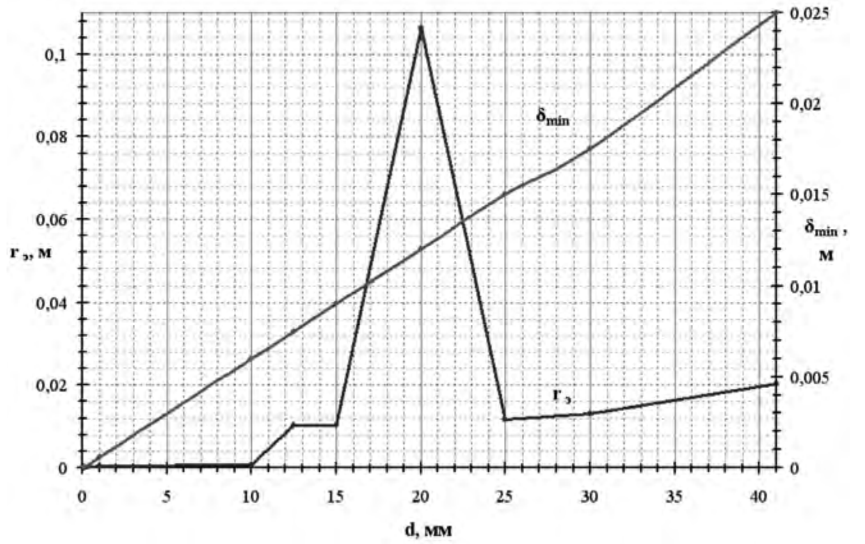

Рис. 2. Зависимость эквивалентной полутолщины стенки в блоке ($r_э$, м) и минимальной толщины стенки между ячейками ($\delta_{\min}$, м) от диаметра канала (d, мм)

Минимальная толщина простенка между ячейками, м:

$$\delta_{\min}=d\cdot\left(\frac{\sqrt{A}}{S}-1\right), \tag{11}$$

где $A=0,905$ для шестигранных насадок с круглыми отверстиями.

В табл. 1 приведены результаты расчетов, выполненные по выражению (6).

Зависимость максимальной удельной поверхности нагрева насадки Каупера от размера канала d при $\delta_{cm}\to 0$ согласно (6).

К указанным максимальным удельным поверхностям нагрева стремятся реальные поверхности нагрева.

Для выражения $F_1=\frac{n\cdot\pi\cdot d}{k\cdot\ell^2}=F\cdot\frac{1}{k}$ было ранее показано, что F_1 – монотонная функция k без экстремума. Действительно: $F_1=\frac{F}{k}$ $\frac{\partial F_1}{\partial k}=\frac{F\cdot(-1)}{k^2}=\frac{-F}{k^2}$; $-F\frac{1}{k^2}=0$; $\frac{1}{k^2}=0$ при $k\to\infty$ $k=\frac{d_1}{d}\to\infty$ при $d\to 0$ будет $F_{1\min}$ $\frac{\partial^2 F_1}{\partial k^2}=\frac{-F\cdot(-2\cdot k)}{k^4}=2\cdot F\cdot\frac{1}{k^3}>0$, т. е. при $\frac{\partial F_1}{\partial k}=\frac{-4\cdot F}{k^2}$ $F_1\to 0$ при $k\to\infty$. Нас же интересует условие $F_{\max}$. В $F_1=\frac{F}{k}$, F_1 будет иметь наибольшее значение при $k=\frac{d_1}{d}\to 0$, т. е. при $d_1\to 0$

$$S=\frac{n\cdot\pi\cdot d^2}{4\cdot\ell^2};\ S=\frac{n\cdot\pi\cdot d_2^2\cdot k^2}{4\cdot\varepsilon^2\cdot k^2\cdot\ell_2^2}=\frac{n\cdot\pi\cdot d_2^2}{4\cdot\varepsilon^2\cdot\ell_2^2}=S_2\cdot\frac{1}{\varepsilon^2}.$$

$$S_2=S\cdot\varepsilon^2;\ \varepsilon=\frac{P}{k};$$

$$F=\frac{n\cdot\pi\cdot d}{\ell^2}=\frac{n\cdot\pi\cdot d_2\cdot k^2}{P\cdot\ell_2^2}=F_2\cdot\frac{k^2}{P}=F_2\cdot\frac{k}{\frac{P}{k}}=F_2\cdot\frac{k}{\varepsilon};$$

$$S=\frac{n\cdot\pi\cdot d^2}{4}=\frac{1}{x^2}\cdot\frac{\pi\cdot d^2}{4};$$

Таблица 1

Зависимость максимальной удельной поверхности нагрева насадки с квадратными каналами от диаметра канала

Показатель	Размеры квадратного канала d, мм									
	40	30	25	20	15	10	5	1	0,5	0,1
Удельная поверхность нагрева F, м^2/м^3	100	133,3	160	200	266,7	400	800	4000	8000	40000

$$\frac{dS}{dx}=\frac{\pi\cdot d^2}{4}\cdot\frac{1\cdot(-2\cdot x)}{x^4}=-\frac{\pi\cdot d^2}{2\cdot x^3};$$

$$-\frac{\pi\cdot d^2}{2\cdot x^3}=0 \text{ при } x\to\infty;$$

$$\frac{d^2S}{dx^2}=\left(-\frac{\pi\cdot d^2}{2}\right)\cdot\frac{(-3\cdot x^2)}{x^6}=\frac{3\cdot\pi\cdot d^2}{2\cdot x^4}>0,$$

т. е. имеем min S при $x\to\infty$. Число отверстий на 1 м^2 поперечного сечения насадки (в квадрате со стороной 1 м): $n=\frac{1}{x}\cdot\frac{1}{x}=\frac{1}{x^2}$, где x – это расстояние между отверстиями в насадке.

Поверхность нагрева в 1 м^3 насадки при размере куба $(1\times1\times1)$ $м=1\ м^3$: $F=\frac{1}{x^2}\cdot\pi\cdot d$, $\frac{м^2}{м^3}$, $\frac{x}{d}=\varepsilon$ или $F=\frac{1}{\left(\frac{x}{d}\right)^2}\cdot\pi\cdot\frac{d}{d^2}=\frac{1}{\left(\frac{x}{d}\right)^2}\cdot\pi\cdot\frac{1}{d}$.

При $d=const$ и $x=\text{var}$.

$$\frac{dF}{dx}=\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{x^2}\cdot\pi\cdot d\right)=\pi\cdot d\cdot\frac{(-2\cdot x)}{x^4}=-\frac{2\cdot\pi\cdot d}{x^3};$$

$$-\frac{2\cdot\pi\cdot d}{x^3}=0 \text{ при } x\to\infty$$

$$\frac{d^2F}{[d(x)]^2}=-\pi\cdot d\cdot 2\cdot\frac{(-3\cdot x^2)}{x^6}=\frac{6\cdot\pi\cdot d}{x^4}>0.$$

Т.к. $\frac{d^2F}{[d(x)]^2}>0$, то при $x\to\infty$, имеем $F\to0$, т. е. $F_{\min}$.

Далее при $d=\text{var}$ и $x=const$ при $d\to0$ и $F\to0$.

Для Кауперовской насадки $F=\frac{4\cdot d}{(d+\delta)^2}=\frac{4}{d+2\cdot\delta+\frac{\delta^2}{d}}$ и F увеличивается с уменьшением толщины простенка δ и диаметра канала d. Если $\delta\to0$, то $F\to\frac{4}{d}$.

Продифференцируем выражение $F=\frac{\ell^2\cdot\pi\cdot d}{x^2\cdot\ell^2}=\frac{\pi\cdot d}{x^2}$ по d: $\frac{dF}{d(d)}=\frac{1}{x^2}\cdot\pi\cdot1>0$. Для $F=\frac{1}{x^2}\cdot\pi\cdot d$.

При $d\to0$ и $F\to0$ все живое сечение занято телом насадки.

При $x\to\infty$ и $F\to0$. Из выражения $S=\frac{\ell^2\cdot\pi\cdot d^2}{x^2\cdot4\cdot\ell^2}=\frac{\pi\cdot d^2}{4\cdot x^2}=\frac{\pi\cdot d\cdot d}{4\cdot x^2}=\frac{F\cdot d}{4}$ следует: при $d\to0$, $S\to0$; и при $x\to\infty$, $S\to0$.

Выводы

Исследовано влияние диаметра канала и межцентрового расстояния между ячейками на величину удельного объема кирпича, эквивалентной толщины простенка между каналами, минимальной толщины стенки между ячейками.

Построены зависимости удельного объема кирпича, эквивалентной и минимальной толщины стенки от диаметра канала при изменении последнего от 0,1 до 41 мм.

Показано, что в пределе при стремлении толщины простенка между каналами к нулю получаем минимум удельных «живого» сечения насадки и поверхности ее нагрева.

Горизонтальные проходы в насадочных блоках дают возможность переходить к диаметрам каналов $d\le15$ мм, что позволит существенно сократить габариты воздухонагревателей, снизить их материалоемкость по огнеупорам и металлу кожуха, сократить тепловые потери в них.

Библиографический список

1. Грес Л. П. Исследование влияния изменения размеров ячеек насадок регенераторов на совершенствование их параметров / Л. П. Грес, Ю. К. Литовченко, А. Е. Быстров, Ю. М. Флейшман, Л. А. Воробьёва, М. Ю. Иванов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – № 5, 2015. – С. 102–104.

2. Аверин С. И. Расчет нагревательных печей / С. И. Аверин, Э. М. Гольдфарб, А. Ф. Кравцов [и др.]. – К.: Техніка, 1969. – С. 540.

3. Шкляр Ф. Р. Тематический отраслевой сборник ВНИИМТ / Ф. Р. Шкляр, Н. Л. Брунько, М. И. Агафонова [и др.]. – М., 1978. – С. 88–91.

Поступила 13.05.2016