

магния имеются условия и предпосылки для диспергирования и деления двухфазных магнийсодержащих потоков на несколько равных с последующим диспергированием их в жидкой ванне после истечения из канала фурмы. Этот процесс сопровождается увеличением межфазной поверхности на 40–50 %, образующейся в ванне, что в случае вдувания зернистого магния определяет благоприятные предпосылки для увеличения степени его усвоения и возможности увеличения интенсивности ввода этого вещества в жидкий чугун. Реализация рекомендуемого процесса включает вдувание зернистого магния через двухсопловые и многосопловые погружаемые фурмы с отклонением сопел на выходе на 45–60° от вертикальной оси. По результатам исследований на моделях сформированы исходные условия для технологии и устройств вдувания магния в чугун через многосопловые фурмы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шевченко А.Ф., Большаков В.И., Башмаков А.М. Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах. – Киев: Наукова думка, 2011. – 207 с.
2. Сб. докладов. Галати IX Международного симпозиума по десульфурации чугуна и стали. – Румыния: Изд-во «ALMAMET» (Германия), 2006. – 91 с.
3. Большаков В.И., Шевченко А.Ф., Лю Дун Ие и др. // Сталь. 2009. № 4. С. 13–20.
4. Степанов А.А., Ламухин А.М., Зинченко С.Д. и др. – В кн: Сб. докладов VII Международного симпозиума по десульфурации чугуна и стали. – Нижний Тагил: Изд-во «ALMAMET» (Германия), 2004. С. 83–87.
5. Рузова Т.А., Толстопят А.П., Шевченко А.Ф. и др. // Науковий вісник НГУ. Енергетика та автоматизація виробничих процесів. 2007. № 12. С. 91–99.

© 2013 г. А.Ф. Шевченко, И.А. Маначин  
Поступила 27 марта 2012 г.

УДК 621.771

*В.Н. Перетьяко, А.С. Климов, М.В. Филиппова*

Сибирский государственный индустриальный университет

## КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ШАРОПРОКАТНОГО СТАНА. СООБЩЕНИЕ 2

**Аннотация.** При прокатке шаров на шаропрокатном стане деформация металла производится в валках с винтовыми калибрами. Ввиду такого характера прокатки очаг деформации можно разделить на формирующий участок, где происходит захват заготовки, ее обжатие и формирование шара, и отделочный участок, где происходит обкатка шара, получение конечных размеров и удаление перемычки. Для нормального процесса прокатки осуществляется калибровка формирующего участка прокатных валков. В работе приведен расчет калибровки валков для прокатки шаровой заготовки. Расчет выполнен для прокатки шара диам. 125 мм. Приведены исходные данные для калибровки шаропрокатного стана.

**Ключевые слова:** шаропрокатный стан, калибровка валков, очаг деформации.

## ROLL PASS DESIGN OF A BALL-ROLLING MILL. PART 2

**Abstract.** In making balls for ball mills the metal is deformed in rolling balls in rolls with helical pass grooves. Insofar as the character of the deformation is concerned, the pass can be divided into the forming section, where the rolls bite the billet and reduce it gradually into the ball shape, and the finishing section where the ball is rolled to the final size and severed from the rest of the billet. A normal process of rolling is provided for by designing the forming section of the pass groove. In the article outcomes calculation roll pass design for rolling of balls. Calculation is made for rolling of ball of 125 mm. Initial data for ball-rolling mill design are given.

**Keywords:** rolling of balls, roll pass, deformation zone.

В предыдущей работе приведены исходные данные для калибровки и рассчитаны предварительные размеры калибров. В настоящем исследовании продолжено изложение методики калибровки валков шаропрокатного стана для прокатки шара диам. 125 мм. Для этого определяем основной шаг  $T_{осн}$  нарезки реборды:

$$\frac{T_{осн}}{Z} = 2C_{отр} + a_{отр}, \quad (1)$$

где  $Z$  – число заходов реборды валка (для однозаходной калибровки  $Z = 1$ );  $C_{отр}$  – ширина сферического участка

калибра перед отрезкой;  $a_{отр}$  – ширина реборды перед отрезкой.

Для калибровки шара диам. 125 мм имеем общую длину калибра  $\alpha_{отр} = 1260^\circ$ , длину формирующего участка  $\alpha_{ф} = 540^\circ$  и отделочного участка  $\alpha_{отд} = 720^\circ$ , радиус калибра  $R_k = 62,6$  мм,  $a_{отр} = 11,4$  мм,  $C_{отр} = C_\alpha = 810^\circ = 61,41$  мм. В результате находим  $T_{осн} = 2 \cdot 61,41 + 11,4 = 134,22$  мм.

Нарезка калибров в нашем случае производится на токарно-винторезном станке модели 165 (или модели РТ 911Ф). Расчетный основной шаг нарезки реборды невозможно получить на таком станке, поэтому мето-

дом подбора шестерен гитары станка найдем максимально приближенное значение основного шага. Настраиваем станок на метрический шаг 60, сменные шестерни 114:76 и получаем шаг 135 мм.

Из уравнения (1) рассчитываем ширину реборды на отделочном участке:  $a_{отд} = T_{осн} - 2C_{\alpha=720^\circ}$ .

Для каждого угла задаемся шириной реборды на формовочном участке. Согласно рекомендациям работы [1], для определения ширины реборды калибра используем кривую, имеющую минимум. Поэтому при обжати формуемой заготовки ширина реборды вначале должна уменьшаться с начального значения  $a_{нач}$  до минимального  $a_{мин}$ , а затем постепенно увеличиваться до  $a_{отд}$ . Принимаем  $a_{нач} = 7,2$  мм,  $a_{мин} = 3,8$  мм и  $a_{отд} = 9,96$  мм.

На рис. 1, а приведены объемы металла, которые необходимы для заполнения калибра. Согласно этому рисунку, рассчитываем заполнение калибра металлом.

Определяем объем металла в сферической части калибра:

$$V_{C_\alpha} = \pi C_\alpha \left( R_k^2 - \frac{C_\alpha^2}{3} \right). \quad (2)$$

Рассчитываем объем металла в перемычках:

$$V_{a_\alpha} = \pi r_\alpha^2 a_\alpha. \quad (3)$$

Находим объем шара с перемычками:

$$V_{ш} = \frac{4}{3} \pi R_k^3 + \pi r_\alpha^2 a_\alpha. \quad (4)$$

Зная значения объема металла в перемычках и сферических частях калибра, можем определить объем металла в цилиндрической части калибра:

$$V_{S_\alpha} = V_{ш} - \Sigma V_{\alpha-360}, \quad (5)$$

где

$$\Sigma V_{\alpha-360} = \frac{V_{a_\alpha}}{2} + V_{C_\alpha} + \frac{V_{a_{\alpha-360}}}{2} + V_{C_{\alpha-360}}. \quad (6)$$

Расчетные данные на предварительном этапе калибровки приведены в таблице.

На основном этапе расчета проверяем принятую ширину реборды  $b_\alpha$  для каждого угла  $\alpha$  по условию соответствия вытяжке:

$$b_\alpha = \frac{V_{\alpha+90} - 2(V_{C_\alpha} - V_{C_{\alpha+90}})}{\pi r_\alpha^2}. \quad (7)$$

Ниже приведены расчетные данные на основном этапе калибровки:

$\alpha^\circ$	$b_\alpha$ , мм	$S_\alpha$ , мм	$a_\alpha$ , мм	$t_\alpha$ , мм
1260	—	—	7,2	21,56
1170	-25,92	—	6,0	68,04
1080	-13,62	—	4,8	90,36
990	-8,32	—	3,8	108,88
900	-4,73	15,04	1,34	96,64
810	3,24	5,45	5,91	120,88
720	—	1,95	7,22	129,32
630	—	0,50	8,64	133,00
540	—	0	9,14	—

Параметр  $b_\alpha$  на заходе формовочного участка имеет отрицательное значение, так как перемычка еще не сформировалась, но по мере вытяжки ширина перемычки приобретает положительное значение. До момента отрезки перемычки ее ширина должна быть меньше ширины реборды во избежание переполнения и плены. Исходя из этого условия производится перерасчет ширины реборды и объемов металла на участках калибра.

Находим ширину цилиндрического участка калибра:

$$S_\alpha = \frac{V_{S_\alpha}}{\pi R_k^2}. \quad (8)$$

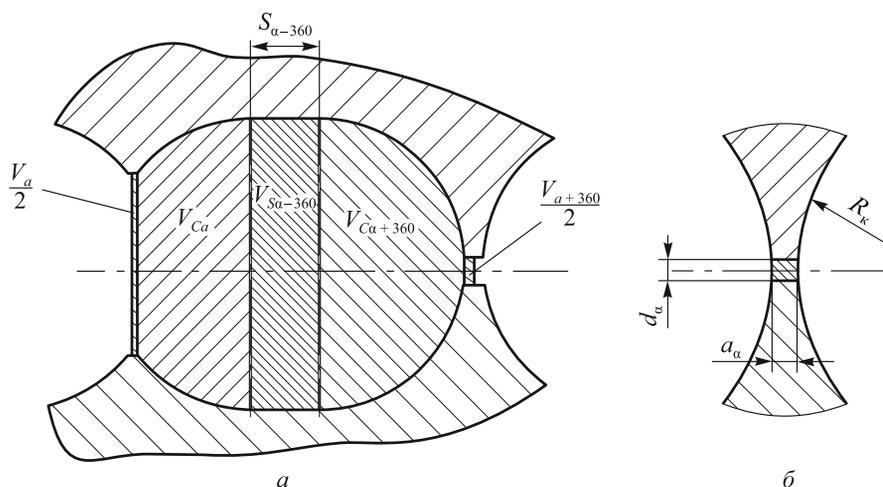


Рис. 1. Заполнение металлом калибра (а) и перемычки (б)

**Расчетные данные калибровки**

$\alpha^\circ$	$h_\alpha, \text{мм}$	$r_\alpha, \text{мм}$	$\frac{C_\alpha, \text{мм}}{V_{C_\alpha}, \text{мм}^3}$	$\frac{a_\alpha, \text{мм}}{V_{a_\alpha}, \text{мм}^3}$	$\Sigma V_{\alpha-360}^\alpha, \text{мм}^3$	$V_{S_\alpha}, \text{мм}^3$
1260	5,20	57,40	$\frac{24,98}{291\ 209,24}$	$\frac{7,2}{74\ 525,7}$	842 724,3	–
1170	14,25	48,35	$\frac{39,76}{423\ 669,73}$	$\frac{6,0}{44\ 065,0}$	960 787,6	–
1080	23,30	39,30	$\frac{48,73}{478\ 745,88}$	$\frac{4,8}{23\ 290,4}$	1 004 313,0	–
990	32,35	30,25	$\frac{54,81}{502\ 345,91}$	$\frac{3,8}{10\ 924,1}$	1 021 729,9	–
900	41,40	21,20	$\frac{58,90}{511\ 145,95}$	$\frac{4,4}{6212,6}$	1 028 174,2	185 190,30
810	50,45	12,15	$\frac{61,41}{513\ 508,50}$	$\frac{7,0}{3246,4}$	1 029 007,3	67 127,06
720	59,50	3,10	$\frac{62,52}{513\ 783,97}$	$\frac{9,96}{300,7}$	1 027 843,9	23 601,64
630	59,50	3,10	–	–	–	6184,75
540	59,50	3,10	–	–	–	0

Определяем ширину реборды по формуле

$$a_\alpha = T_{\text{осн}} - 2C_\alpha - S_\alpha. \quad (9)$$

Принимаем окончательные значения ширины реборды (см. расчетные данные на основном этапе калибровки).

Определяем шаги нарезки калибра в промежутке от  $\alpha_{\text{отд} - 90}$  до  $\alpha_{\text{общ}}$ :

$$t_\alpha = T_{\text{осн}} - \frac{360}{\Delta\alpha} (S_{\alpha+90} - S_\alpha). \quad (10)$$

Если один из шагов больше предыдущего, то оба шага принимаем равными их среднему арифметическому значению.

Подбираем шаги токарного станка для нарезки калибров. Для примера рассмотрим прокатку шара диам. 125 мм:

–  $t_{630} = 133$  мм, метрический шаг 56, сменные шестерни 114:72;

–  $t_{720} = 130,26$  мм, метрический шаг 60, сменные шестерни 110:76;

–  $t_{810} = 120$  мм, метрический шаг 120, сменные шестерни 76:114;

–  $t_{900} = t_{990} = 102,5$  мм, метрический шаг 40, сменные шестерни 123:72;

–  $t_{1080} = 90$  мм, метрический шаг 40, сменные шестерни 114:76;

–  $t_{1170} = 67,5$  мм, метрический шаг 30, сменные шестерни 114:76;

–  $t_{1260} = 21,6$  мм, метрический шаг 22, сменные шестерни 72:110.

Расчетные данные на основном этапе калибровки валков после корректировки представлены ниже:

$\alpha^\circ$	$\frac{S_\alpha, \text{мм}}{V_{S_\alpha}, \text{мм}^3}$	$\frac{a_\alpha, \text{мм}}{V_{a_\alpha}, \text{мм}^3}$	$V_{\alpha-360}^\alpha, \text{мм}^3$
1260	$\frac{78,17}{962\ 362,41}$	$\frac{6,87}{71\ 109,95}$	840 479,93
1170	$\frac{49,82}{613\ 341,37}$	$\frac{6,00}{44\ 065,03}$	960 770,18
1080	$\frac{32,94}{405\ 529,20}$	$\frac{4,60}{22\ 319,93}$	1 003 814,74
990	$\frac{21,09}{267\ 028,79}$	$\frac{3,69}{10\ 607,84}$	1 021 576,60
900	$\frac{13,56}{166\ 939,16}$	$\frac{3,64}{5139,52}$	1 027 650,03
810	$\frac{5,44}{66\ 911,09}$	$\frac{6,74}{3118,85}$	1 029 002,25
720	$\frac{1,68}{20\ 744,28}$	$\frac{8,27}{249,83}$	1 027 843,21
630	$\frac{0,50}{6155,57}$	$\frac{9,46}{285,60}$	–
540	–	$\frac{9,96}{300,70}$	–

Корректировку калибровки прокатных валков проводим на последнем этапе.

Для этого вычисляем ширину цилиндрического участка калибра исходя из полученных значений шагов на углах от  $\alpha_{\text{отд} - 90}$  до  $\alpha_{\text{общ}}$ :

$$S_\alpha = \frac{(T_{\text{осн}} - t_\alpha)}{4} + S_{\alpha-\Delta\alpha}. \quad (11)$$

Согласно рис. 1, б, уточняем ширину реборды:

$$a_\alpha = T_{\text{осн}} - 2C_\alpha - S_\alpha. \quad (12)$$

Уточняем объем металла в перемычках и в цилиндрической части:

$$\begin{aligned} V_\alpha &= \pi r_\alpha^2 a_\alpha, \\ V_{S_\alpha} &= \pi R_\kappa^2 S_\alpha. \end{aligned} \quad (13)$$

Проверяем заполнение калибров:

$$\Sigma V_{\alpha-360}^\alpha = \frac{V_{a_\alpha}}{2} + V_{C_\alpha} + \frac{V_{a_{\alpha-360}}}{2} + V_{C_{\alpha-360}}.$$

Заполнение калибра по мере прокатки должно приближаться к полному объему шара [2].

По окончательным результатам строим график изменения высоты реборды  $h_\alpha$  (рис. 2) и график подрезки реборды (рис. 3).

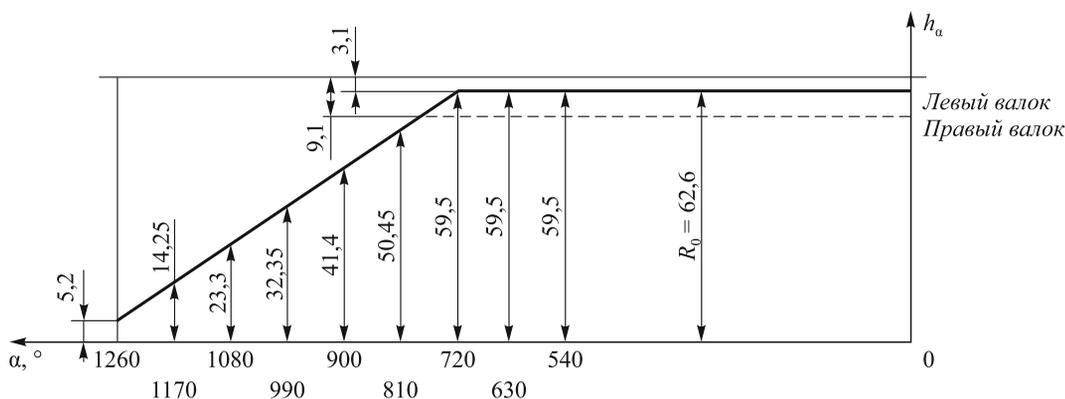


Рис. 2. График изменения высоты реборды

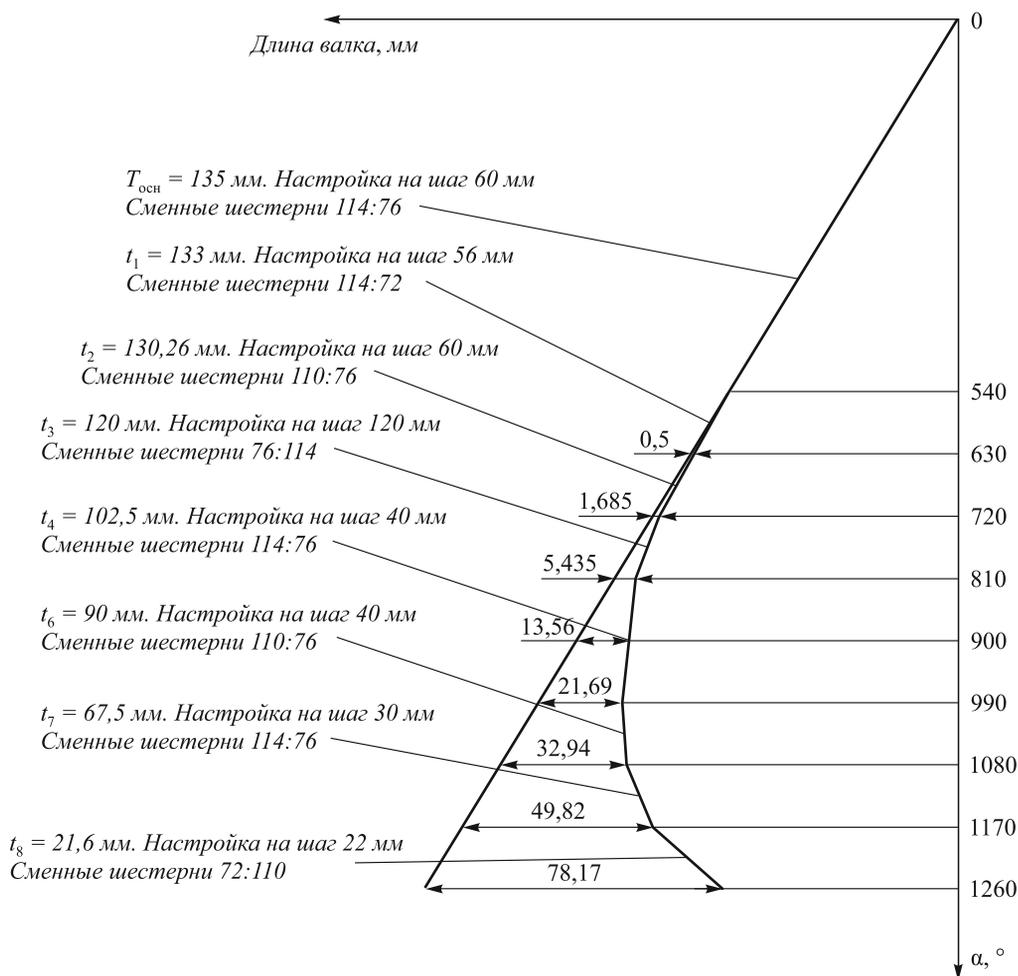


Рис. 3. График подрезки реборды

Результаты расчета калибровки для прокатки шара диам. 125 мм внедрены в производство на Гурьевском металлургическом заводе [3].

**Выводы.** Приведена состоящая из нескольких этапов методика калибровки валков шаропрокатного стана для прокатки шаровой заготовки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Специальные прокатные станы/ А.И. Целиков, М.В. Барбарин, М.В. Васильчиков и др. – М.: Металлургия, 1971. – 336 с.

2. Перетятыко В.Н., Климов А.С., Филиппова М.В., Федоров А.А. – В кн.: Металлургия, технология, управление, инновации, качество. Сб. науч. тр. СибГИУ. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2010. С. 258 – 265.
3. Климов А.С., Филиппова М.В., Перетятыко В.Н. – В кн.: Металлургия, технология, управление, инновации, качество. Сб. науч. тр. СибГИУ. – Новокузнецк, изд. СибГИУ, 2010. С. 255 – 257.

© 2013 г. В.Н. Перетятыко, А.С. Климов,  
М.В. Филиппова

Поступила 3 декабря 2012 г.

УДК 669.162.16:622.333

**В.А. Долинский<sup>1</sup>, Л.Д. Никитин<sup>2</sup>, Л.В. Портнов<sup>2</sup>, С.Ф. Бугаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет  
<sup>2</sup> ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУСКОВОГО КАМЕННОГО УГЛЯ ДЛЯ ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНЫ КОКСА ПРИ ВЫПЛАВКЕ ЧУГУНА

**Аннотация.** Разработан и внедрен новый способ загрузки кусковых углей через колошник, позволивший сформировать достаточно рациональный профиль слоя шихты, обеспечить ровный форсированный ход доменной печи полезным объемом 3000 м<sup>3</sup>. Применение в шихте кускового угля для частичной замены кокса в количестве до 15 % способствовало снижению фактических и приведенных расчетных значений расхода кокса на 4,4 – 7,5 и 2,8 – 9,7 % соответственно, увеличению производительности на 4,1 – 3,8 и 4,4 – 7,5 % при сохранении качества выплавляемого чугуна.

**Ключевые слова:** доменная печь, кусковый уголь, способ загрузки, рациональный профиль слоя шихты, форсированный ход доменной печи, производительность печи, расход кокса.

## USAGE OF LUMP COAL FOR THE PARTIAL REPLACEMENT OF COKE IN CAST IRON MELTING

**Abstract.** The new method of lump coal charging through the throat is developed and implemented, it allows to form rational profile of the charge layer and ensure smooth forced progress of blast furnace with working volume of 3000 m<sup>3</sup>. Use of lump coal in the charge for partial replacement of coke up to 15 % contributed to reduction of actual and estimated values of coke consumption by 4,4 – 7,5 and 2,8 – 9,7 %, respectively, and increased productivity by 4,1 – 3,8 and 4,4 – 7,5 %, while maintaining the quality of cast iron.

**Keywords:** blast furnace, lump coal, loading method, rational profile of the charge layer, forced progress of blast furnace, furnace productivity, coke rate.

При имеющемся дефиците доменного кокса существует необходимость поиска направлений для снижения его расхода при выплавке чугуна.

Попытки частичной замены кокса антрацитом [1 – 3] и другими кусковыми углями [4 – 10] предпринимались давно, в основном на доменных печах объемом не более 1100 м<sup>3</sup> [9]. Опыт использования кускового угля давал противоречивые результаты. Так, совместное его применение с коксом в количестве до 15 – 20 % и шихтой, состоящей из неподготовленных руд, характеризовалось значительным снижением (от 5,1 до 14,5 %) производительности доменной печи, ухудшением газопроницаемости шихты, значительными колебаниями теплового состояния и загромождением горна, осложнениями при отработке продуктов плавки [7]. Результаты опытно-промышленных плавов, проведенных на доменной печи полезным объемом 1100 м<sup>3</sup> при введении в шихту до 12 % кускового каменного угля, указывали на

сохранение основных технико-экономических показателей [6]. В работе [4] отмечено, что при использовании кускового угля в количестве 5 – 10 % при его средней массовой доле в шихте 7 % расход кокса уменьшался на ту же величину (7,0 %), а производительность печи увеличивалась на 4,5 %. Коэффициент замены кокса углем с учетом улучшения технологических параметров плавки составил 1,04 кг/кг.

Анализ данных промышленных доменных плавов с применением кускового угля при его загрузке через колошник и теоретические расчеты свидетельствуют о том, что максимальный расход угля может достигать 15 – 17 % от расхода кокса и зависит как от свойств угля, так и от качества кокса. Технология доменной плавки с максимальным расходом угля еще не освоена и, как показывают расчеты, может иметь несколько худшие показатели (более низкие коэффициент замены кокса углем и технико-экономические показатели)