

1972

Акад. М. А. ПАВЛОВ

ДЕП

РАСЧЕТ ДОМЕННЫХ ШИХТ

ИЗДАНИЕ ЧЕТВЕРТОЕ
ДОПОЛНЕННОЕ

СИГНАЛЬНЫЙ

1/282.193
Цена 2 р. 25 к., пер. 1 р. 25 к.

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА



ОНТИ НКТН СССР

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
ЛЕНИНГРАД 1938 . МОСКВА

Книга рассматривает важнейшую задачу в доменном производстве—методику определения соотношения между входящими в состав шихты рудами, флюсами и золою минерального горючего, чтобы получаемому сорту чугуна соответствовало надлежащее количество шлаков требуемых свойств. В книге на конкретных случаях из практики показано, как эти соотношения выражаются при составлении шихт на различные сорта чугуна и какие арифметические приемы должны применяться при этом.

Книга является учебным руководством для соответствующих ВТУЗов и пособием для инженерно-технических работников,

Г.

С

Т

В.

И.

Х.

Б.

С.

Т.

И.

К.

К.

С.

Р.

Д.

РАСЧЕТ ДОМЕННЫХ ШИХТ

Рассчитать доменную шихту — это значит определить соотношение между различными входящими в состав ее рудами, флюсами и золою минерального горючего так, чтобы получаемому сорту чугуна соответствовало надлежащее количество шлака требуемых свойств.

Количество шлака регулируется хозяйственными соображениями: во избежание излишних расходов на флюс и горючее, стремятся получить возможно меньшее количество шлака, не переходя, однако, некоторого минимума, обусловливаемого правильным ходом печи.

Что касается качества шлака, то оно определяется как физическими свойствами, так и химическим составом его; совокупность их должна способствовать правильному ходу печи, восстановлению полезных для данного сорта чугуна элементов и мешать переходу в него элементов вредных.

Показать, как эти общие требования выражаются конкретно при составлении шихт на различные сорта чугуна; выяснить, какие арифметические приемы должны применяться при этом и, наконец, дать характерные для различных случаев практики примеры расчетов шихт — составляет задачу дальнейшего изложения, предполагающего в читателе знание теоретических основ доменной плавки вообще и, в частности, понимания физико-химических явлений процессов восстановления и плавления.

СВОЙСТВА ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ И ПРИЕМЫ РАСЧЕТА ШИХТ

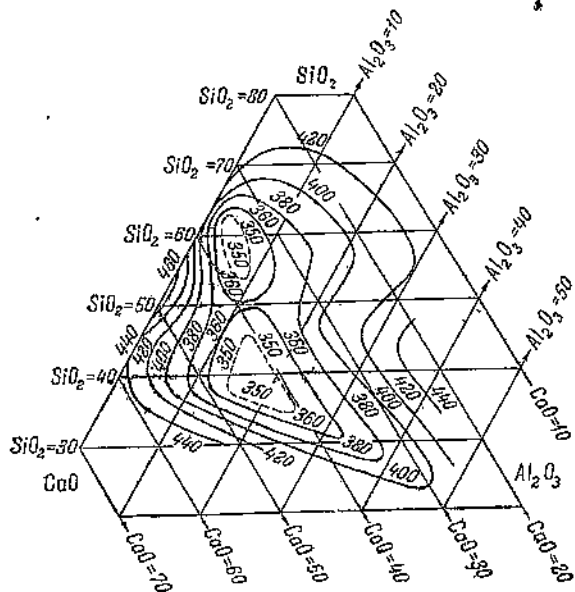
1. Физические свойства и химический состав доменных шлаков

Для рассчитывающего шихту доменной печи важными физическими свойствами доменных шлаков являются: их относительная трудноплавкость, характеризуемая числом калорий теплоты плавления (на 1 кг шлака) и температурой плавления, а затем — вязкость или степень подвижности в жидком состоянии.

1. В отношении первого свойства нужно сказать, что правильный ход печи и необходимость сбережения горючего побуждают допускать более или менее трудноплавкие шлаки лишь при выплавке чугунов, содержащих трудновосстановимые элементы в таком количестве, какое требует сосредоточенного жара или высокой температуры горна, и наоборот, — получение чугунов, содержащих незначительные количества кремния и марганца, должно сопровождаться возможно легкоплавкими шлаками, в особенности, когда вес шлака значителен.

Разность в теплоте плавления первых и вторых доходит до 100 кал., составляя значительную часть всего количества тепла, потребного на расплавление шлаков (обыкновенно от 350 до 450 кал.), поэтому определение последнего имеет большое значение.

Единственным источником для суждения о количестве тепла, потребном для плавления шлаков, служит классическое исследование Окермана¹⁾. Результаты его в очень удобной для пользования форме



Фиг. 1. Диаграмма Гау-Бабу плавкости шлаков.

представлены на диаграмме (фиг. 1), которую автор называет диаграммой Гау-Бабу, так как идея ее и первое осуществление принадлежат Гау (Н. М. Howe)²⁾, а та форма, в которой диаграмма дана здесь, взята у Бабу (L. Babu), которому принадлежит ее более удачное, чем у Гау, графическое выполнение³⁾.

Фиг. 2 представляет ту же диаграмму в увеличенном масштабе с увеличенным числом ординат SiO_2 и Al_2O_3 , что позволяет быстро определять плавкость шлаков по их процентному составу.

Фиг. 3⁴⁾ дает ту же диаграмму с нанесенными на ней (пунктиром) линиями отношений $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ и степеней кислотности (непрерывными линиями). Направление последних определялось по двум точкам, соответствующим содержанию SiO_2 в силикатах только кальция и только алюминия; промежуточные точки этих линий указывают содержание SiO_2 , Al_2O_3 и CaO в шлаках той же степени кислотности.

Процентное содержание SiO_2 принималось согласно цифр ниже следующей таблички:

Степень кислотности	Силикаты кальция		Силикаты алюминия	
	Формула	Процент SiO_2	Формула	Процент SiO_2
$1\frac{1}{2}$	$4\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	21,24	$4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	30,71
$2\frac{1}{4}$	$8\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$	28,80	$8\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{SiO}_2$	39,93
1	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	35,04	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	46,99
$1\frac{1}{2}$	$4\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$	44,72	$4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{SiO}_2$	57,08
2	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	51,89	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	63,94
$2\frac{1}{2}$	$4\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2$	57,42	$4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 15\text{SiO}_2$	68,91
3	$2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$	61,80	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{SiO}_2$	72,67

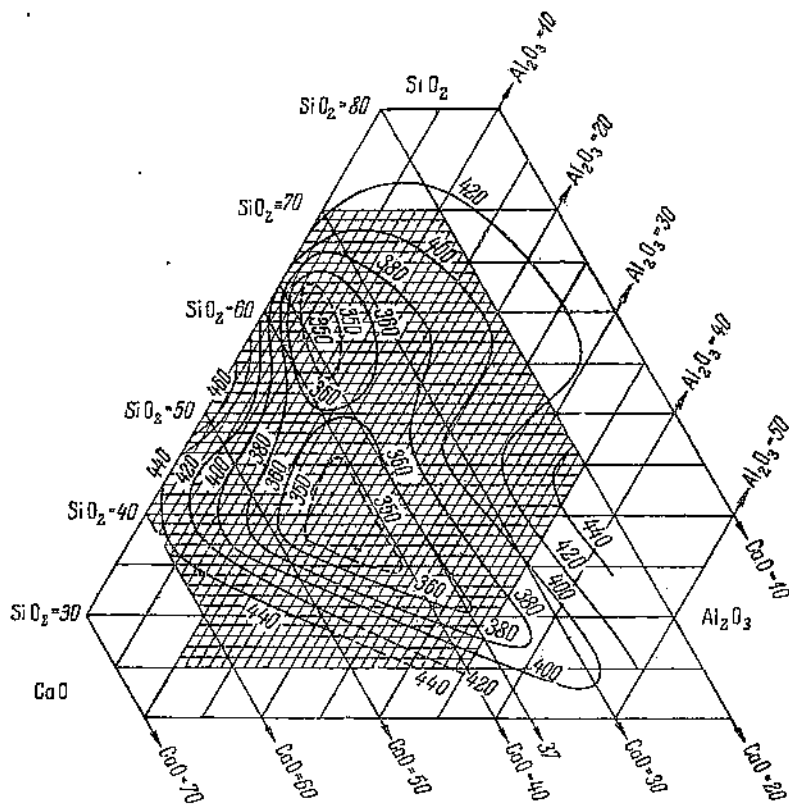
¹⁾ Оригинал см. в *Jernkontorets Annaler*, 1886 г.; немецкий перевод — в *Stahl und Eisen*, 1886 г., № 6, и русский — в *Горном Журнале*, 1886 г., IV т., 220 и 375.

²⁾ *Transact. Americ. Inst. Mining Engrs*, XXVIII (1898 г.), p. 350.

³⁾ *Traité théorique et pratique de métallurgie générale*, 1904, т. I, p. 524.

С помощью этой диаграммы легко, отыскивая пересечение кривых плавкости („изокалей“ по терминологии Гау) с линиями отношений $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$, установить подходящую степень кислотности по данному отношению $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ в шлаке и желаемой теплоте плавления последнего.

На фиг. 4 диаграмма, кроме пунктирных линий отношений $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$, имеет еще непрерывные линии отношений $\text{RO}:\text{SiO}_3$, что может служить для установления подходящих значений этого отношения при данном значении $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$.

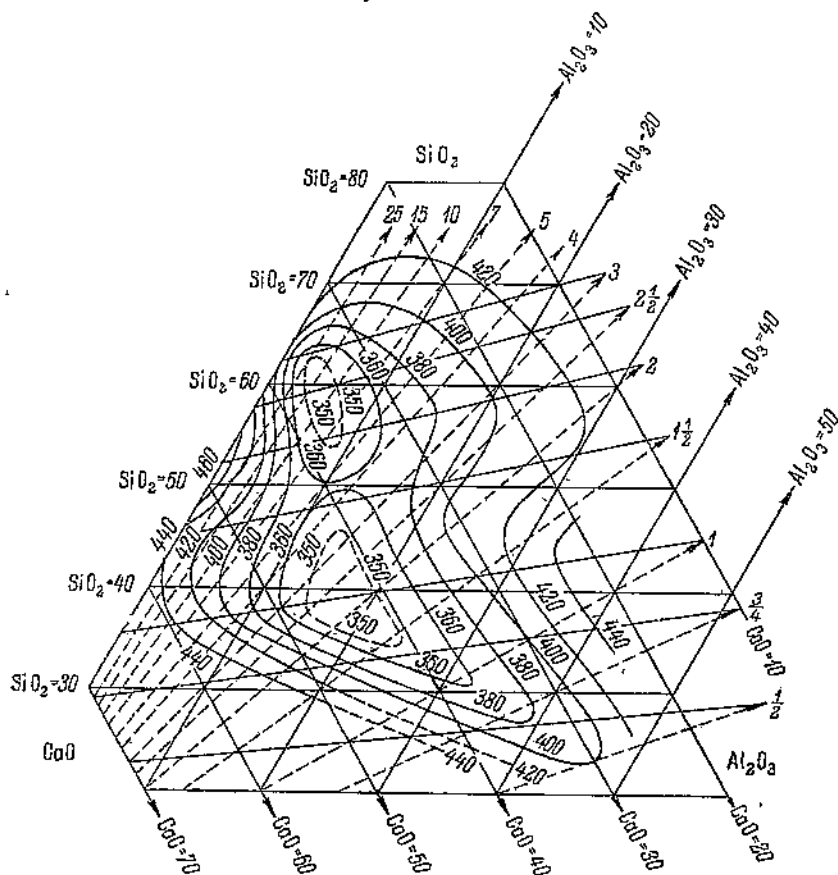


Фиг. 2. Диаграмма Гау-Бабу плавкости шлаков.

Нанесенные на диаграммах фиг. 3 и 4 линии отношений $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ позволяют непосредственно определять и процентный состав шлаков желаемой плавкости.

Диаграмма Гау-Бабу дает зависимость плавкости от 3-х составляющих: SiO_2 , Al_2O_3 и CaO , но в действительных шлаках часть CaO замещается MgO , MnO и FeO , а в шлаках от плавки на минеральном горючем — и более или менее значительным количеством CaS (2,5—7,5%). По недостатку научных исследований влияние CaS на плавкость не может быть оценено; принимая во внимание результаты немногих опре-

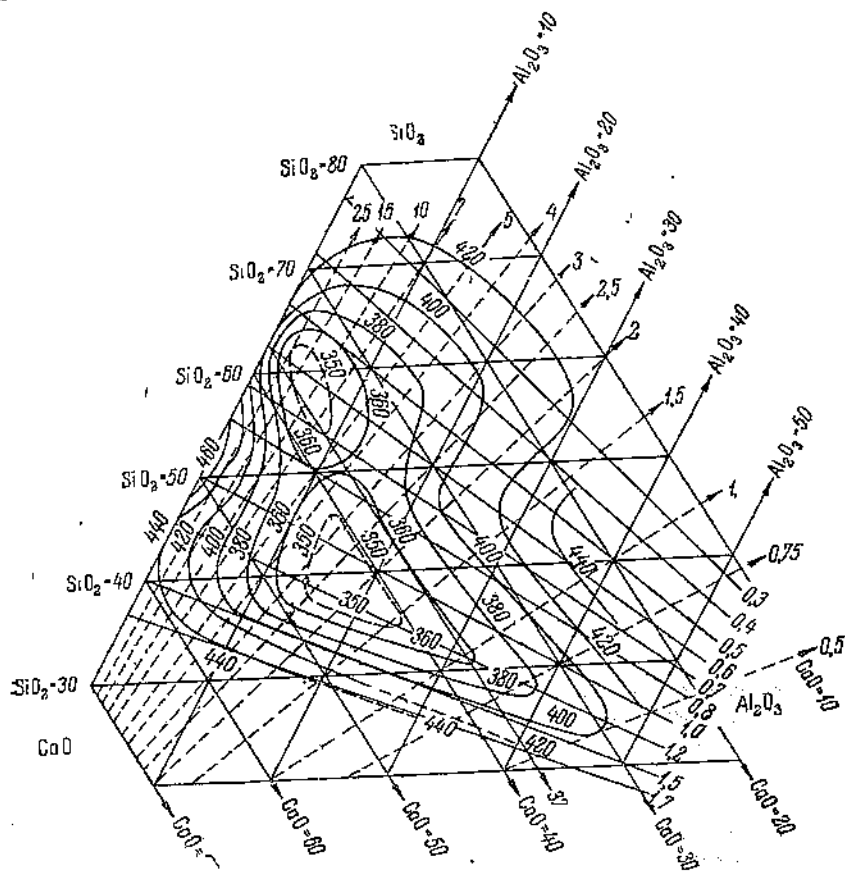
делений теплоты плавления шлаков коксовых доменных печей, помещенные в таблицах О кермана, можно притти к заключению, что CaS, если и понижает теплоту плавления шлака, то — незначительно и, определяя ее с помощью диаграммы по количеству SiO_2 и Al_2O_3 , т. е. принимая сумму $\text{CaO} + \text{CaS}$ за CaO , мы едва ли делаем значительную ошибку, как это видно из следующих данных:



Фиг. 3. Диаграмма Гау-Бабю плавкости шлаков с нанесенными линиями степеней кислотности (сплошными) и отношений $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ (пунктирными).

Заводы	Процентный состав шлаков							Тепл. плавления	
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	FeO	CaS	Окерман	Диагр.
Даулес . .	36,2	10,1	43,0	4,8	0,7	0,4	4,0	395	400
Кларенс . .	31,4	22,3	30,9	10,0	1,0	0,1	3,9	411	400
Колтнес . .	30,1	15,1	35,5	12,3	0,6	0,5	5,7	458	450
Гёрле . . .	27,8	9,0	33,3	3,9	22,0	0,3	4,0	412	400

Для нахождения плавкости по диаграмме был сделан пересчет состава шлака на сумму 100, исключая только MnO и FeO , т. е. суммируя CaO с CaS , причем даже для шлака ферромангана, с очень высоким содержанием MnO , получилось по диаграмме число, очень близкое к найденному опытом. Если пересчет на 100 сделать исключая и CaS , то для плавкости получаются значения в 360—370 кал., т. е. значительно уклоняющиеся от опытных.



Фиг. 4. Диаграмма Гау-Бабу плавкости шлаков с нанесенными линиями отношений $RO:SiO_2$ (сплошными) и $SiO_2:Al_2O_3$ (пунктирными).

Что касается закисей марганца и железа, то давно известно, что они понижают точку плавления шлаков и количество тепла, затрачиваемое на их плавление, но до сих пор нет никаких числовых данных для оценки влияния этих окислов на плавкость доменных шлаков. Чтобы иметь возможность сравнивать плавкость шлаков, содержащих различные количества этих окислов, мы применим прием пересчета процентного состава шлака, предполагая, что действительный шлак представляет сплав примесей, влияние которых неизвестно (MnO , FeO и CaS), с известково-глиноземи-

стым силикатом, плавкость которого может быть точно установлена по данным Окермана.

Поясним сказанное численным примером. Шлаки нижеуказанного состава (I и III) представляют сплавы одного и того же силиката, теплота плавления которого определяется диаграммой в 390 кал., с 4,5 и 8% примесей MnO, FeO и CaS, причем второй, в котором примеси — закиси марганца и железа — составляют в сумме почти 3%, должен плавиться при более низкой температуре, чем исходный силикат; так как, к тому же, и теплоемкость MnO и FeO ниже теплоемкости остальных составных частей шлака, то теплосодержание при точке плавления шлака с примесью MnO и FeO должно быть ниже исходного. Между тем, если определять теплоту плавления шлака по процентному содержанию в нем кремнезема и глинозема, прямо указываемому анализом, то шлак окажется более трудноплавким, чем силикат с 36% SiO₂ и 12% Al₂O₃ (425 против 390 кал.), что, очевидно, невозможно.

	I	II	III	IV
SiO ₂	34,45	36,00	33,33	36,00
Al ₂ O ₃	11,48	12,00	11,11	12,00
CaO	49,76	52,00	48,14	52,00
MnO	0,96	100,00	1,85	100,00
FeO	—	—	0,94	—
CaS	3,35	4,50	4,63	8,00
	100,00	104,50	100,00	108,00

Плавкость: 410 кал. 390 кал. 425 кал. 390 кал.

Иное заключение можно сделать о значении магнeзии. Небольшие примеси ее несомненно понижают температуру плавления тройной системы SiO₂ — Al₂O₃ — CaO, но так как теплоемкость магнeзии гораздо выше, чем остальных составных частей шлака (напр., двукремнеземик магнeия требует в полтора раза больше тепла для нагрева при высоких температурах, чем двукремнеземик кальция), то теплота плавления шлака от введения в него магнeзии может не понизиться. Поэтому мы при пересчете присоединяем магнeзию к извести, а не к закисям железа и марганца.

В шлаках древесноугольных доменных печей нет сернистого кальция, но находится небольшое количество щелочей (обыкновенно не более 1% считая на окиси); для этих шлаков тоже нужно делать пересчет на сумму SiO₂ + Al₂O₃ + CaO = 100, устраняя влияние переменных количеств MnO, FeO и щелочей.

Из сказанного следует, что данные Окермана, в применении к доменным шлакам, имеют относительное значение, позволяя судить о сравнительной плавкости этих шлаков и влиянии на нее изменений в содержании тех или иных составных частей шлаков, что собственно и нужно для решения практических вопросов при расчете шихт, но эти данные не позволяют вычислять точно абсолютную потерю тепла на плавление действительно получаемых в печах шлаков, т. е. содержащих CaS, MgO, MnO и FeO в более или менее значительных количествах.

Пользуясь диаграммой Гау-Бабю и только что указанным приемом пересчета процентного состава шлаков, мы на основании данных о химическом составе доменных шлаков, пригодных для производства различных сортов чугуна, можем сделать нижеследующие выводы относительно их теплот плавления.

Работая на древесном угле, стараются получать наиболее легкоплавкие шлаки, но все же теплота плавления их меняется в пределах 340—400 кал. Однако, последняя цифра относится к шведским шлакам исключительного состава (чрезмерно низкое содержание Al_2O_3 , значительное — TiO_2 или MgO); чаще достигаемая плавкость древесноугольных шлаков определяется в 350—380 кал.

Шлаки, получаемые при выплавке чугуна на минеральном горючем, должны быть более трудноплавкими, чем древесноугольные, однако в действительности это наблюдается далеко не всегда, так как теплота их плавления меняется в широких пределах — от 350 до 460 кал.

Средние по плавкости (380 кал.) соответствуют ходу на нормальный бессемеровский чугун; более горячим (т. е. кремнистым) бессемеровским чугунам соответствуют шлаки, теплота плавления которых меняется от 400 до 420 кал. Такова же (400—420), или еще выше (до 460 кал.), теплота плавления шлаков литейных чугунов, а также — ферроманганов (если не считать в этих шлаках MnO).

При выплавке томасовских, мартеновских и обыкновенных передельных чугунов теплота плавления соответственных шлаков должна быть ниже 400 кал., но для более горячих передельных чугунов (т. е. содержащих марганец или выплавляемых на более сернистом коксе) — не ниже 380 кал., а для более холодных или выплавляемых на малосернистом коксе она может спускаться до 350 кал.

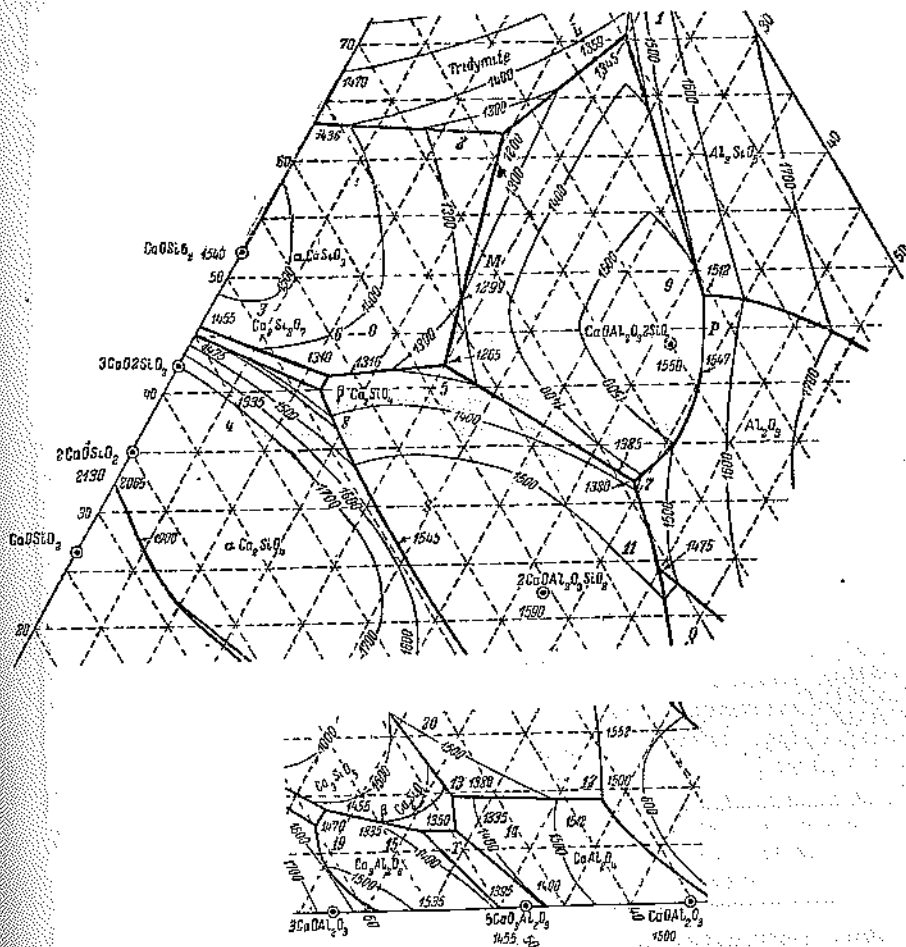
2. Что касается плавкости шлаков, выражаемой их температурой плавления, то до недавнего времени мы не располагали нужными для этого научными данными (если не считать немногих единичных определений), да и теперь — после опубликования замечательного исследования Дж. Ренкина и Ф. Райта¹⁾ — мы можем судить о ней лишь по плавкости соединений тройной системы $SiO_2—Al_2O_3—CaO$, дающих двойные силикаты кальция и алюминия, сплавы которых с сернистым кальцием и окислами магния, марганца и железа, образуют доменные шлаки. Даем здесь таблицу 1, в которой сосредоточены почти все результаты определений температур плавления (исключено из данных Ренкина всего несколько соединений, очень далеких от состава возможных доменных шлаков), выбранные из оригинальной работы исследователей. Для быстрого разрешения вопросов о влиянии химического состава соединений системы $SiO_2—Al_2O_3—CaO$ на их температуру плавления мы даем здесь (фиг. 5 и 6) диаграмму, совмещающую в себе 3 диаграммы подлинника, с прибавлением ординат, позволяющих легко ориентироваться при разыскании температур плавления смесей из 3-х компонентов, входящих в состав доменных шлаков.

Диаграмма эта позволяет установить, что температура плавления древесноугольных шлаков нормального состава колеблется в пределах 1300—1350°, а действительных шлаков, в которых часть извести замещается закисью марганца, щелочами и иногда закисью железа, точка плавления должна быть ниже. Однако, действительные шлаки могут значительно отходить от нормального состава: включать в себе очень мало глинозема (шведские шлаки) или слишком много его (некоторые

¹⁾ G. Rankin and F. Wright, The ternary system $CaO—Al_2O_3—SiO_2$, Amer. Journ. Science 1915, Jan., 1—79. В этой работе второму автору принадлежат лишь оптические исследования.

Между первыми и вторыми разность тем выше, чем более вязки шлаки при температуре застывания (глиноземистые шлаки), и тем ниже, чем жиже шлаки у точки плавления (известково-магнезиальные).

О том, насколько температура плавления реальных шлаков ниже температуры, указываемой диаграммой Ренкина для смесей, в состав которых входят только 3 компонента, мы можем теперь судить по ре-



Фиг. 6. Важнейшие участки диаграммы Ренкина в увеличенном масштабе.

зультатам работ, произведенных в Союзе для определения вязкости шлаков. Н. В. Рулла, которому принадлежит наиболее обстоятельная работа по этому вопросу, установил для изучавшихся им шлаков температурный интервал, в котором происходит выделение кристаллов при застывании шлаков с помощью кривой $t-\eta$ (температура—вязкость), на которой этот интервал отчетливо обнаруживается крутым перегибом.

Материалом для исследований Рулла послужили шлаки южных пе-

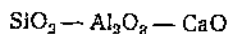
чей Союза в их естественном состоянии, а также сплавы их с теми или иными примесями, введение которых имело целью выяснить влияние отдельных составных частей шлаков на их свойства.

Данные Рулла представляют тем больший интерес, что наша таблица 1 не содержит в себе смесей того состава, который имеют обычные шлаки доменных печей, работающих на криворожской руде, а диаграмма Ренкина на вопрос о точке плавления большинства этих шлаков дает один ответ—выше 1700°.

В таблице 2 первые 26 строк содержат данные, заимствованные из работы Рулла¹⁾. В подлиннике указаны для сравнения и температуры плавления по диаграмме Ренкина, находящиеся на ней по составу шлака, пересчитанному на сумму 100% $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$, т. е. вычитая CaS . Разница между числами Рулла и Ренкина обыкновенно близка к 100°, но часто она достигает 150°, а иногда и 200°.

Таблица 1

Температуры плавления тройной системы



А. Химические соединения

	SiO_2 %	Al_2O_3 %	CaO %	Т. плавления °Ц
SiO_2	100	—	—	1625°
Al_2O_3	—	100	—	2050
CaO	—	—	100	2370
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	37,15	62,85	—	1816
CaSiO_3	51,8	—	48,2	1540
Ca_2SiO_4	35,0	—	65,0	2130
CaOAl_2O_3	—	64,56	35,44	1600
$3\text{CaO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$	—	75,22	24,78	1720
$5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$	—	52,22	47,78	1455
$\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	43,28	36,63	20,09	1550
$2\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	21,98	37,19	40,83	1590

В. Двойные эвтектики

Точки диаграммы	L	M	N	O	P	Q	S	T
SiO_2 %	70,0	47,3	33,0	41,1	41,4	14,2	26,7	6,9
Al_2O_3 %	19,5	18,6	36,8	13,2	39,3	50,8	23,7	41,8
CaO %	10,5	34,1	30,2	45,7	19,3	35,0	49,6	51,3
Т-ра плавления . . . °Ц	1359	1299	1385	1316	1547	1552	1545	1350

¹⁾ „Домез“ 1935, № 10, стр. 18—33, „Теория и практика металлургии“, 1936, № 1, стр. 56—73.

Точки диаграммы	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂ %	70,4	62,00	42,8	39,9	42,0	41,0	31,8	36,6
Al ₂ O ₃ %	19,8	14,75	4,2	11,9	20,0	11,8	39,0	14,4
CaO %	9,8	23,25	53,0	48,2	38,0	47,2	29,2	49,0
T-ра плавления . . °C	1345	1165	1415	1335	1265	1310	1380	1415

Точки диаграммы	9	10	11	12	13	14	19	20
SiO ₂ %	47,9	75,8	24,3	9,25	9,7	6,8	7,5	12,0
Al ₂ O ₃ %	36,5	17,6	44,5	53,25	42,0	43,7	38,0	39,8
CaO %	15,6	6,6	31,2	37,50	48,3	49,5	57,5	48,7
T-ра плавления . . °C	1512	1470	1475	1505	1380	1335	1390	1430

Шлаки расположены в таблице в порядке возрастания температуры кристаллизации. Наиболее легкоплавкими среди них, естественно, оказываются те, которые содержат в себе более закиси марганца и магнезии — это шлаки мартеновского чугуна, или полученные из них введением добавок. Последние шлаки таблицы с ничтожным содержанием MnO и небольшим MgO — шлаки бессемеровского и литейного чугунов — наиболее трудноплавкие. Среди них — в строке 21 — находится шлак Нижне-Салдинского завода, исследованный в своем естественном состоянии.

Л. Цылев, изучая влияние сернистого кальция на вязкость шлаков, определял температуру плавления их в микро-печи конструкции проф. Б. П. Селиванова. Шесть последних строк таблицы 2 дают результаты наблюдений Цылева¹⁾ над плавкостью шлаков: литейного чугуна Косогорского завода (строки 27 и 28), мартеновского чугуна Магнитогорского завода (29, 30) и литейного чугуна того же завода (последние 2).

Температуры плавления даны для шлаков в их естественном состоянии и обогащенных сернистым кальцием до указанного в таблице предела. Сравнение цифр указывает, что прибавка сернистого кальция понижает температуру плавления шлака, — по крайней мере, в тех количествах, с какими приходится иметь дело в практике.

О степени перегрева, какую получают шлаки в горну доменных печей при выпуске из него, можно судить по результатам измерений, сделанных на американских печах. Для 5 древесноугольных печей средняя температура выпускаемого шлака была 1451°; для 48 коксовых — 1526° в среднем, но печи, работавшие на литейный чугун, имели температуру шлака 1553°, а работавшие на мартеновский — 1522°.

Многочисленные измерения, произведенные проф. В. Е. Васильевым и его сотрудниками, над шлаками южных печей Союза, дали более

¹⁾ Заимствованы из отчета об исследовательской работе, проведенной в Московском институте стали в 1936 г.

D. Температуры плавления сплавов, расположенных по убывающему содержанию кремнезема

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Т-ра плавления °C	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Т-ра плавления °C
70,4	19,8	9,8	1340	65,0	20,0	15,0	1384
62,0	14,75	23,25	1165	61,0	21,0	18,0	1358
60,0	5,0	35,0	1408	60,0	10,0	30,0	1322
60,0	25,0	15,0	1447	55,0	5,0	40,0	1449
55,0	10,0	35,0	1374	55,0	25,0	20,0	1468
50,0	5,0	45,0	1481	50,0	10,0	40,0	1416
50,0	15,0	35,0	1330	50,0	25,0	25,0	1466
50,0	30,0	20,0	1522	47,3	18,6	34,1	1299
47,5	38,5	14,0	1575	46,7	7,3	47,0	1472
45,0	10,0	45,0	1402	45,0	15,0	40,0	1345
45,0	25,0	30,0	1433	45,0	30,0	25,0	1514
45,0	35,0	20,0	1545	43,7	10,0	46,3	1405
42,8	4,2	53,0	1415	42,5	39,0	18,5	1550
41,0	11,8	47,2	1310	41,1	13,2	45,7	1316
40,0	5,0	55,0	1625	40,0	10,0	50,0	1400
40,0	30,0	30,0	1445	40,0	35,0	25,0	1523
40,0	40,0	20,0	1560	39,9	11,9	48,2	1335
36,6	14,6	48,8	1415	35,7	20,0	44,3	1477
35,0	15,0	5,00	1500	35,0	25,0	40,0	1475
35,0	30,0	35,0	1430	35,0	35,0	30,0	1415
35,0	41,5	23,5	1530	32,5	17,5	50,0	1550
32,0	39,5	28,5	1395	31,8	39,0	29,2	1380
31,0	40,0	29,0	1430	30,8	26,2	43,0	1549
30,9	25,0	45,0	1554	30,0	30,0	40,0	1558
30,0	35,0	35,0	1503	27,3	22,0	50,7	1625
27,5	41,5	31,0	1450	27,5	42,5	30,0	1475
26,7	23,7	49,6	1545	25,0	30,0	45,0	1575
25,0	40,0	35,0	1537	24,3	44,5	31,2	1475
21,0	30,0	49,0	1540	20,5	50,5	29,0	1550
20,0	35,0	45,0	1569	20,0	33,7	49,3	1548
19,0	29,7	51,3	1590	18,2	31,8	50,0	1570
18,0	46,0	36,0	1571	17,2	32,8	50,0	1535
15,6	35,6	48,8	1490	15,0	40,0	45,0	1529
15,0	45,0	40,0	1564	14,4	38,0	47,6	1495
13,6	39,4	47,0	1490	13,5	32,0	54,5	1575
10,0	38,0	52,0	1460	10,0	40,0	50,0	1420
10,0	50,0	40,0	1537	9,0	42,0	49,0	1390
8,0	42,0	50,0	1375	6,5	41,0	52,5	1370

низкие цифры. Средняя температура шлака, сопровождавшего литейный чугун с 2,5—3% Si, была при выпуске 1512°, а с более горячим чугуном (3—3,5% Si)—1521°. Более высокую температуру — от 1530 до 1550° — имели глиноземистые шлаки литейного чугуна (14—16% Al₂O₃, т. е. нормальные шлаки). Шлак бессемеровского чугуна, содержащего от 1 до 1,5% Si, имел температуру при выпуске—1453°, а более горячего (1,5—2,0% Si)—1467°. Магнезиальный (6,35% MgO) шлак бессемеровского чугуна имел более высокую температуру при выпуске—1503°.

Е. Температуры плавления сплавов, расположенных по возрастающему содержанию глинозема

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Т-ра плавления °Ц	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Т-ра плавления °Ц
42,8	4,2	53,0	1415	60,0	5,0	35,0	1408
55,0	5,0	40,0	1449	50,0	5,0	45,0	1485
40,0	5,0	55,0	1625	46,7	7,3	47,0	1472
60,0	10,0	30,0	1322	55,0	10,0	35,0	1374
50,0	10,0	40,0	1416	45,0	10,0	45,0	1402
43,7	10,0	46,3	1405	40,0	10,0	50,0	1400
41,0	11,8	47,2	1310	39,9	11,9	48,2	1335
41,1	13,2	45,7	1316	36,6	14,6	48,8	1415
62,0	14,75	23,25	1165	50,0	15,0	35,0	1330
45,0	15,0	40,0	1345	35,0	15,0	50,0	1500
32,5	17,5	50,0	1550	47,3	18,6	34,1	1299
70,4	19,8	9,8	1340	65,0	20,0	15,0	1384
35,7	20,0	44,3	1477	61,0	21,0	18,0	1358
27,3	22,0	50,7	1625	26,7	23,7	49,6	1545
60,0	25,0	15,0	1447	55,0	25,0	20,0	1468
50,0	25,0	25,0	1466	45,0	25,0	30,0	1433
35,0	25,0	40,0	1475	30,0	25,0	45,0	1554
30,8	26,2	43,0	1549	19,0	29,7	51,3	1590
50,0	30,0	20,0	1522	45,0	30,0	25,0	1514
40,0	30,0	30,0	1445	35,0	30,0	36,0	1430
30,0	30,0	40,0	1558	25,0	30,0	45,0	1575
21,0	30,0	49,0	1540	18,2	31,8	50,0	1570
13,5	32,0	54,5	1575	17,2	32,8	50,0	1535
20,0	33,7	49,3	1548	45,0	35,0	20,0	1545
40,0	35,0	25,0	1523	35,0	35,0	30,0	1445
30,0	35,0	35,0	1503	20,0	35,0	45,0	1569
15,6	35,6	48,8	1490	14,4	38,0	47,6	1495
10,0	38,0	52,0	1460	47,5	38,5	14,0	1575
42,5	39,0	18,5	1550	31,8	39,0	29,2	1380
13,6	39,4	47,0	1490	32,0	39,5	28,5	1395
40,0	40,0	20,0	1560	31,0	40,0	29,0	1430
25,0	40,0	35,0	1537	15,0	40,0	45,0	1529
10,0	40,0	50,0	1420	6,5	41,0	52,5	1370
35,0	41,5	23,5	1530	27,5	41,5	31,0	1450
9,0	42,0	49,0	1390	8,0	42,0	50,0	1375
27,5	42,5	30,0	1475	24,3	44,5	31,2	1475
15,0	45,0	40	1564	18,0	46,0	36,0	1571
10,0	50,0	40,0	1537	20,5	50,5	29,0	1550

хотя не был более трудноплавким, чем обычный шлак (с 1,05% MgO).

Плавка на марганцевый чугун сопровождается получением более или менее марганцевистого шлака, так как марганец не восстанавливается полностью из руды вследствие ее преждевременного плавления и образования большого количества силиката марганца, приходящего в горн с температурой, немного более высокой, чем температура его образования и сильно понижающей температуру плавления основного известкового шлака, на который ведется расчет шихты.

F. Температура плавления сплавов, расположенных по возрастающему содержанию извести

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Т-ра плавления °Ц	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Т-ра плавления °Ц
70,4	19,8	9,8	1340	47,5	38,5	14	1575
65,0	20,0	15,0	1384	60,0	25,0	15	1447
61,0	21,0	18,0	1358	42,5	39,0	18,5	1550
55,0	25,0	20,0	1468	50,0	30,0	20,0	1522
45,0	35,0	20,0	1545	40,0	40,0	20,0	1560
62,0	14,75	23,25	1165	35,0	41,5	23,5	1530
50,0	25,0	25,0	1466	45,0	30,0	25,0	1514
40,0	35,0	25,0	1523	32,0	39,5	28,5	1395
31,0	40,0	29,0	1430	20,5	50,5	29,0	1550
31,8	39,0	29,2	1380	60,0	10,0	30,0	1322
45,0	25,0	30,0	1433	40,0	30,0	30,0	1445
35,0	35,0	30,0	1415	27,5	42,5	30,0	1475
27,5	41,5	31,0	1450	24,3	44,5	31,2	1475
47,3	18,6	34,1	1299	60,0	5,0	35,0	1408
55,0	10,0	35,0	1874	50,0	15,0	35,0	1330
35,0	30,0	35,0	1430	30,0	35,0	35,0	1503
25,0	40,0	35,0	1537	18,0	46,0	36,0	1571
55,0	5,0	40,0	1449	50,0	10,0	40,0	1416
45,0	15,0	40,0	1345	35,0	25,0	40,0	1475
30,0	30,0	40,0	1558	15,0	45,0	40,0	1564
10,0	50,0	40,0	1537	30,0	30,0	40,0	1558
35,7	20,0	44,3	1477	50,0	5,0	45,0	1481
45,0	10,0	45,0	1402	30,0	25,0	45,0	1554
25,0	30,0	45,0	1575	20,0	35,0	45,0	1569
15,0	40,0	45,0	1529	41,4	13,2	45,7	1316
43,7	10,0	46,3	1405	46,7	7,8	47,0	1472
13,6	39,4	47,0	1490	14,4	38,0	47,6	1495
41,0	11,8	47,2	1310	39,9	11,9	48,2	1335
15,6	35,6	48,8	1490	36,6	14,6	48,8	1415
21,0	30,0	49,0	1540	9,0	42,0	49,0	1390
20,0	30,7	49,3	1548	26,7	23,7	49,6	1545
40,0	10,0	50,0	1400	35,0	15,0	50,0	1500
32,5	17,5	50,0	1550	18,2	31,8	50,0	1570
17,2	32,8	50,0	1535	10,0	40,0	50,0	1420
8,0	42,0	50,0	1375	27,3	22,0	50,7	1625
19,0	29,7	51,3	1590	10,0	38,0	52,0	1460
6,5	41,0	52,5	1370	42,8	4,2	53,0	1415
13,5	32,0	54,5	1575	40,0	5,0	55,0	1625

Влияние закиси марганца на температуру плавления шлаков (одного и того же состава, но с меняющимся содержанием MnO) можно видеть из результатов исследования Ф. Фрериха¹⁾, представленных ниже.

Содержание MnO . . . 5,81% 9,16% 14,17% 18,36%
Температ. плавления . . 1250° 1210° 1170° 1150°

1) F. Frerich, Stahl und Eisen, 1917, 11, 898.

Температура плавления шлаков доменных печей Союза

№	Химический состав шлаков в %							Температура плавления ° C	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	CaS	от	до
1	33,0	14,9	37,3	4,2	3,8	0,6	6,2	1280	1310
2	33,5	9,1	40,9	4,8	4,6	0,4	6,8	1300	1320
3	34,9	12,3	42,3	3,6	2,0	0,5	4,6	1300	1320
4	32,5	9,0	40,3	6,4	4,1	0,9	6,6	1300	1320
5	33,5	9,1	40,1	4,8	4,6	0,4	6,8	1300	1320
6	32,5	8,9	42,4	6,2	4,5	0,6	5,0	1315	1330
7	34,4	8,9	44,1	5,8	2,0	0,5	4,8	1320	1340
8	33,2	13,7	42,2	3,9	2,0	0,5	4,5	1330	1350
9	32,4	9,8	40,2	7,0	3,8	0,7	6,5	1335	1350
10	34,5	10,6	43,8	4,0	2,1	0,5	4,5	1335	1350
11	32,3	9,0	44,1	4,5	3,9	0,9	5,4	1340	1360
12	32,1	11,1	40,8	4,3	4,3	0,7	6,8	1340	1360
13	31,4	9,4	40,0	7,4	4,3	1,0	6,5	1340	1360
14	35,0	7,2	44,8	6,3	2,0	0,4	4,8	1345	1365
15	31,4	14,2	39,3	4,5	3,8	0,8	6,2	1350	1370
16	30,8	18,0	44,4	1,9	0,3	0,2	4,5	1370	1390
17	34,2	7,3	42,6	9,1	1,7	0,4	4,7	1390	1400
18	28,8	26,0	36,7	3,0	1,6	0,4	3,4	1400	1420
19	31,9	6,5	41,9	11,6	2,2	0,9	4,1	1410	1430
20	32,1	12,1	48,4	2,0	0,3	0,3	4,6	1440	1460
21	33,4	17,1	42,9	3,7	0,2	1,0	1,7	1460	1470
22	32,2	8,6	46,4	6,2	0,3	1,3	5,2	1470	1490
23	32,7	9,2	49,5	2,2	0,3	0,2	6,0	1470	1490
24	34,4	8,7	47,5	2,2	0,3	0,2	6,8	1490	1510
25	32,7	9,4	50,5	2,1	0,3	0,2	4,9	1500	1520
26	29,9	8,0	47,8	4,6	3,8	0,9	5,1	1520	1540
27	33,0	9,0	48,6	0,8	—	0,8	5,4	1400	1410
28	32,0	8,7	46,9	0,8	—	0,7	8,4	1377	1380
29	34,0	17,0	34,1	4,1	6,9	1,0	2,2	1300	1330
30	32,4	16,3	32,6	4,4	6,6	0,9	6,7	1270	1290
31	33,4	20,1	40,1	2,5	0,2	0,8	3,0	1350	1380
32	32,5	20,9	38,5	2,4	0,2	0,8	6,9	1324	1346

По абсолютному своему значению температуры, указанные в таблице, ниже нормальных, так как шлак при 5,81% MnO содержал лишь 39% суммы CaO+MgO (вместо нормальных 45—48%), а тот же исследователь показал, что каждые добавочные 5% CaO (в пределах 35—45%) повышают температуру плавления шлака на 58° при содержании от 19 до 16% MnO.

Таким образом, температура плавления нормальных шлаков ферромангана может быть принята равной 1300—1320°. Что касается температуры их при выпуске, то по измерениям, произведенным у 12 печей (7 работали на ферромангане и 5 на зеркальный чугун), она оказалась равной 1426—1427°.

Измерения, произведенные С. К. Трекало при взятии проб марганцовистых шлаков для определения вязкости, дали более высокие тем-

пературы: минимум—1435°—наблюдался у шлаков с наивысшим содержанием закиси марганца (20—24%), максимум—1490°—отмечен был для шлака, содержащего около 70% MnO; средняя температура была установлена в 1450° (завод им. Петровского)¹⁾.

Титанистые шлаки издавна (по опыту работы шведских доменных печей на рудах месторождения Таберг) пользовались славой трудноплавких и два определения теплоты их плавления, сделанные Окерманом, подтверждают эту репутацию титанистых шлаков. Ниже приводятся данные Окермана.

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	MnO %	FeO %	TiO ₂ %	Тепл. плавл. кал.
37,1	7,4	15,1	27,7	0,5	2,3	10,2	433
39,2	9,6	12,7	27,3	0,5	1,5	8,5	463

По диаграмме теплота плавления последнего шлака—самого трудноплавкого из всех исследованных Окерманом шлаков—всего 370 кал.—как в том случае, когда содержание титанового ангидрида присоединяется к содержанию кремнезема, так и тогда, когда на диаграмме берется лишь содержание кремнезема одного (при 9,5% Al₂O₃). Повидимому причиной высокого теплосодержания шлака при температуре плавления его является не только 8,5% TiO₂, но и слишком низкое содержание CaO при очень высоком MgO. Пустая порода почти всеж титано-магнетитов—магнезиальная и при плавке на древесном угле нельзя было ввести в шихту нужное количество извести; плавка на коксе допускает это, благодаря тому, что зола кокса требует известкового флюса. Работа с агломератом обогащенных уральских титаномангнетитов на коксе ведется с таким же содержанием титанового ангидрида (от 8 до 10%) в шлаках, как и в шведских шлаках, исследованных Окерманом, но количество извести в этих шлаках было 32—35% при 2,75% MgO (магнезия удаляется в процессе обогащения); трудноплавкость этих шлаков не давала о себе знать при работе.

После Окермана в течение многих лет никто не определял плавкости титанистых шлаков²⁾; только в 1927 г. А. Стэнсфилд опубликовал диаграмму, которая позволяет с некоторым приближением судить о плавкости титанистых шлаков по температуре размягчения конусов из искусственных смесей разного состава, нагреваемых в восстановительной атмосфере³⁾.

Дж. Морисон, работая в лаборатории Стэнсфилда, приготовлял конусы из смесей извести, кремнезема и синего окисла титана, которому приписывается состав Ti₂O₃ (TiO, 2TiO₂), с постоянным содержанием глинозема (10%).

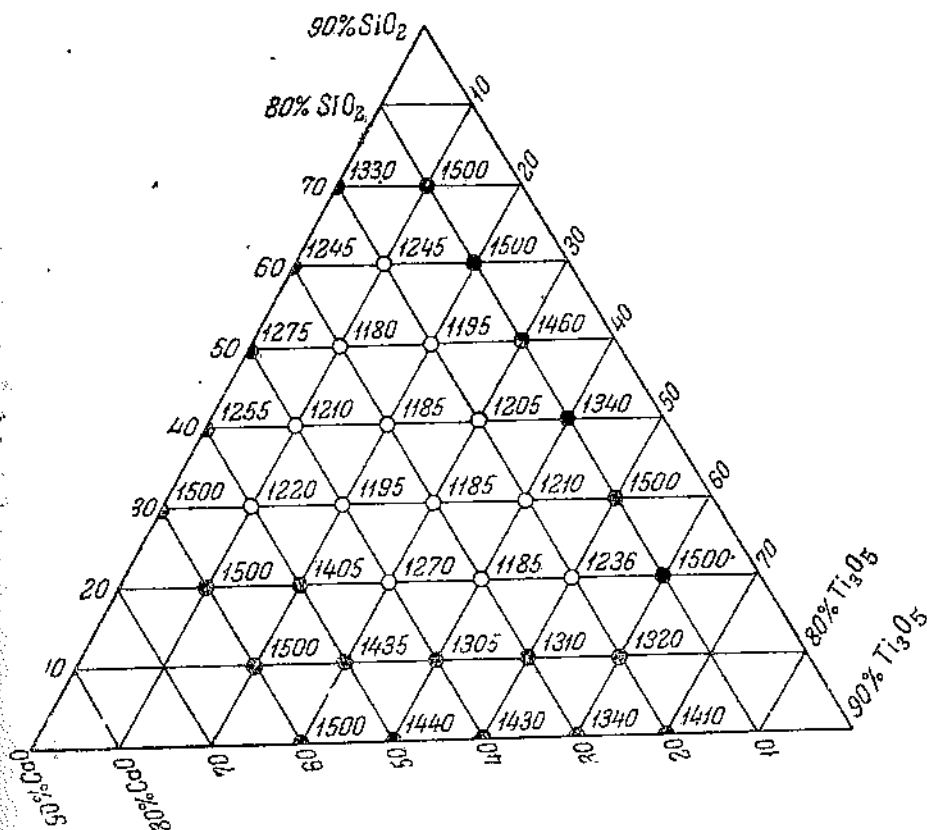
¹⁾ С. К. Трекало, Вязкость марганцовистых доменных шлаков, „Теория и практика металлургии“, 1936, № 5, 9.

²⁾ А. Росси только указал (1890—1892 гг.) на то, что силико-титанат кальция, содержащий равные количества SiO₂, TiO₂ и CaO более легкоплавок, чем силикат кальция и что, флюсуя титанистые руды известью и кремнеземом одновременно, можно получить текучие шлаки; это было доказано опытной плавкой в 1896 г.

³⁾ Proc. Emp. Min. and Metallurg. Congress of Canada 1927, part IV, 552—578. A. Stansfield and J. Morrison. Blast-furnace slags containing titanium. Trans. Roy. Soc. of Canada, 1926, sec. III, vol. 20, 439.

Данная исследователем диаграмма воспроизведена здесь (фиг. 7) в оригинальной форме. Она указывает в пересечении ординат температуры размягчения конусов; температуры плавления шлаков того же состава исследователь считает на 50° выше.

Как видно из диаграммы, синий окисел титана, в который переходит TiO_2 в восстановительной атмосфере, может давать весьма легкоплавкие шлаки в очень широких пределах своего содержания (10—40% Ti_2O_3) и, заменяя кремнезем, он понижает температуру плавления сплава, т. е.



Фиг. 7. Диаграмма Морисона температур плавления титанистых шлаков.

что титано-силикаты легкоплавче чистых силикатов с тем же содержанием извести и глинозема (последнего 10%). Напр., для очень кислых шлаков, содержащих лишь 20% извести и, значит, 70% ($SiO_2 + Ti_2O_3$), температуры размягчения таковы:

SiO_2 . . . %	70	60	50	40	30	20
Ti_2O_3 . . . %	—	10	20	30	40	50
Т-ра размягчения...°C	1330	1245	1195	1205	1210	1235

Для смесей с 30% CaO получаются наиболее низкие температуры

размягчения и в более широком интервале содержания титанового оксида, как видно из нижеследующей таблички.

SiO ₂ . . . %	60	50	40	30	20
Ti ₃ O ₅ . . . %	—	10	20	30	40
Т-ра размягчения . . . °С	1245	1180	1185	1185	1185

Более основные смеси (с 40% CaO) более трудноплавки и содержание в них SiO₂ и Ti₃O₅ меняется в более узких пределах, как видно из следующих цифр.

SiO ₂ . . . %	50	40	30	20
Ti ₃ O ₅ . . . %	—	10	20	30
Т-ра размягчения . . . °С	1275	1210	1195	1270

Таким образом, 30% CaO в шлаке являются оптимальным содержанием: при нем количество Ti₃O₅ может изменяться от 10 до 40%, а SiO₂ от 50 до 20% и шлак все же остается легкоплавким. При работе на коксе может возникнуть сомнение в том, может ли получаться мало-сернистый чугун при 30% CaO в шлаке. Опытная плавка на Н.-Тагильском заводе титано-магнетитов Кусинской Магнитки показала, что, работая на Кузнецком коксе (0,5—0,6% S) и имея сумму CaO+MgO, равную 30%, можно получить чугун, содержащий менее 0,05% серы, но еще более чистый по сере чугун получается со шлаком, содержащим 35% (CaO+MgO)¹⁾.

Что касается вязкости этих шлаков, то та же опытная плавка подтвердила делавшиеся раньше указания А. Росси на достаточную их текучесть. Это же доказано и исследованиями в лаборатории²⁾.

3. Имея два ряда данных и две диаграммы плавкости — Окермана и Ренкина, — нужно иметь в виду, что первая дает прямой ответ на вопрос о затрате тепла на плавление шлака и, вместе с тем, косвенный — о достаточной текучести шлака вблизи точки плавления и не чрезмерной высоте последней (иначе Окерман не мог бы расплавить шлака в своей лаборатории и вылить его в калориметр).

Но для таких шлаков, состав которых не находится на диаграмме Гау-Бабу, диаграмма Ренкина является единственной, дающей ответ на вопрос о плавкости таких шлаков. Однако, этот ответ, если он благоприятен, не может с уверенностью использоваться для расчета шихты без предварительного разрешения вопроса о том, может ли шлак быть перегрет до температуры, при которой он может течь через шлаковую лентку.

Самый легкоплавкий шлак, какой только может получиться в печи, представляет эвтектику, содержащую 62% SiO₂, 14,75% Al₂O₃ и 23,25% CaO и плавящуюся при 1165°. Такой шлак чрезмерно густ и даже при температуре 1600° лишен текучести. Если бы мы захотели воспользоваться его легкоплавкостью для расчета шихты древесноугольной печи в предположении, что он унесет очень мало тепла при выпуске из горна, то сделали бы грубую ошибку.

В числе искусственных шлаков, исследованных Окерманом, нет имеющего такой состав; то место диаграммы Гау-Бабу, на котором находится пересечение ординат: 62 SiO₂ и 15 Al₂O₃, указывает на теплоту плавления в 400 кал., — это не чрезмерно высокая цифра, но она все же

¹⁾ М. Павлов, „Сорена“, 1934, № 3.

²⁾ М. Гольмшток, „Советская Металлургия“, 1935, № 10—11.

выше теплоты плавления многих древесноугольных и даже коксовых шлаков, температуры плавления которых значительно выше 1165° (напр., $1350-1400^{\circ}$, при составе: $40-38\%$ $\text{SiO}_2 + 14\%$ Al_2O_3 и теплоте плавления всего 350 кал.).

Обратно, чрезвычайно высокая температура плавления — по диаграмме Ренкина — основных шлаков (выше 1700° — предельной температуры диаграммы) вовсе не указывает на то, что эти шлаки не могут применяться в доменной плавке. Там, где плавка ведется в шлаках литейного чугуна содержание кремнезема $30-28\%$ и глинозема $18-20\%$ соответственно. Малоглиноземистая криворожская руда и сернистый южный кокс вызывают получение шлаков, содержащих кремнезема: 35, 33, 32, 30% и глинозема соответственно — 8, 9, 10, 12% . Точка плавления этих шлаков — как и указанных глиноземистых — выше 1700° по диаграмме Ренкина, а истинная вероятно на 150° и даже 200° ниже, судя по тому, что эти шлаки при выпуске через шлаковую летку, т. е., будучи перегреты выше точки плавления, имеют температуру (по измерению проф. В. Е. Васильева и его сотрудников) не выше 1540° , обычно лишь $1520-1500^{\circ}$ и ниже (до 1460°).

Так как теплоемкость составных частей шлаков, — плавящихся при одной и той же температуре, но имеющих различный химический состав, — не одинакова, то теплосодержание их у точки плавления может быть различным; этого достаточно для объяснения расхождения для некоторых шлаков между данными Окермана и Ренкина, но нужно еще указать и на то, что Окерман, оперируя с калориметром, при-нужден был перегревать свои шлаки в такой степени, что они текли, тогда как точка плавления („перехода в стекло“) диаграммы Ренкина вовсе не указывает, что шлак в этой точке может течь.

Обе диаграммы, давая указания разного порядка, не исключают одна другую, а дополняют друг друга; автор пользуется в этой книге и той и другой, сознательно отдавая предпочтение диаграмме Окермана по указанным выше причинам.

4. Текучесть или подвижность в расплавленном состоянии всегда была тем физическим свойством шлака, какое подвергалось неустанныму наблюдению и контролю со стороны технического персонала доменного цеха, так как консистенция шлаков непосредственно отражалась на состоянии печи; правильный ход ее и продолжительность работы (т. е. износ кладки) возможны только при определенной степени текучести шлаков.

Слишком густые шлаки загромождают горн, сокращают объем металлоприемника, образуют настывы на заплечиках и всем этим затрудняют правильную работу печи. При работе на коксе приходится принимать в соображение и понижение густыми шлаками способности обессеривать чугун.

Очень жидкие шлаки, наоборот, — быстро разъедают не только образованные раньше настывы, — которые в известной степени своего развития необходимы для длительной работы огнеупорной кладки, но и обнаженные стены горна и заплечиков.

Как слишком густые, так и слишком жидкие шлаки умышленно допускаются на короткое время для исправления профиля печи (в горну и заплечиках); для постоянной работы нужно предпочитать шлаки сред-

ней степени подвижности, устанавливаемой регулированием химического состава шлаков.

Многолетний опыт доменных техников дает только несколько общих указаний на зависимость текучести шлаков от их химического состава.

Степень текучести доменных шлаков находится в прямой зависимости от соотношения количеств извести и суммы кремнезема с глиноземом в них. Более или менее значительное преобладание суммы $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ над известью делает шлаки густыми, тягучими, медленно остывающими и переходящими при охлаждении постепенно (через тестообразное состояние) в стекловидную массу с раковистым изломом.

Шлаки, в которых отношение $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{CaO}$ приближается к единице, — жидки в расплавленном состоянии, остывают быстро (не переходя в тестообразное состояние) в камневидную массу с тусклым, землистым изломом. При дальнейшем увеличении извести они резко теряют свою текучесть, делаются густыми, рыхлыми, но не тягучими („короткие“ шлаки), рассыпаясь при охлаждении в порошок.

Замена части извести магниевой делает шлаки более жидкими, сообщая им (при достаточном содержании MgO) кристаллическое строение. Закиси марганца и железа еще более способствуют жидкоплавкости шлаков, но последней в шлаках нормального хода не бывает, а первая оказывает свое действие резко лишь при работе на марганцевый чугун.

При работе на древесном угле сумма $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ доходит до 70%, так как плавка по экономическим соображениям (сокращение расхода на флюс) ведется с наименьшим возможным расходом известняка. Плавка на минеральном горючем — ввиду необходимости борьбы с вредным влиянием серы — требует основных известковых шлаков, в которых отношение суммы кремнезема и глинозема к извести меняется в очень узких пределах, колеблясь около 1.

В 1932 г. появилось в печати исследование Мак-Кефери и его сотрудников¹⁾ над вязкостью шлаков (синтетических), которое, подобно работам Окермана и Ренкина — Райта, внесло много нового в наше познание физических свойств доменных шлаков.

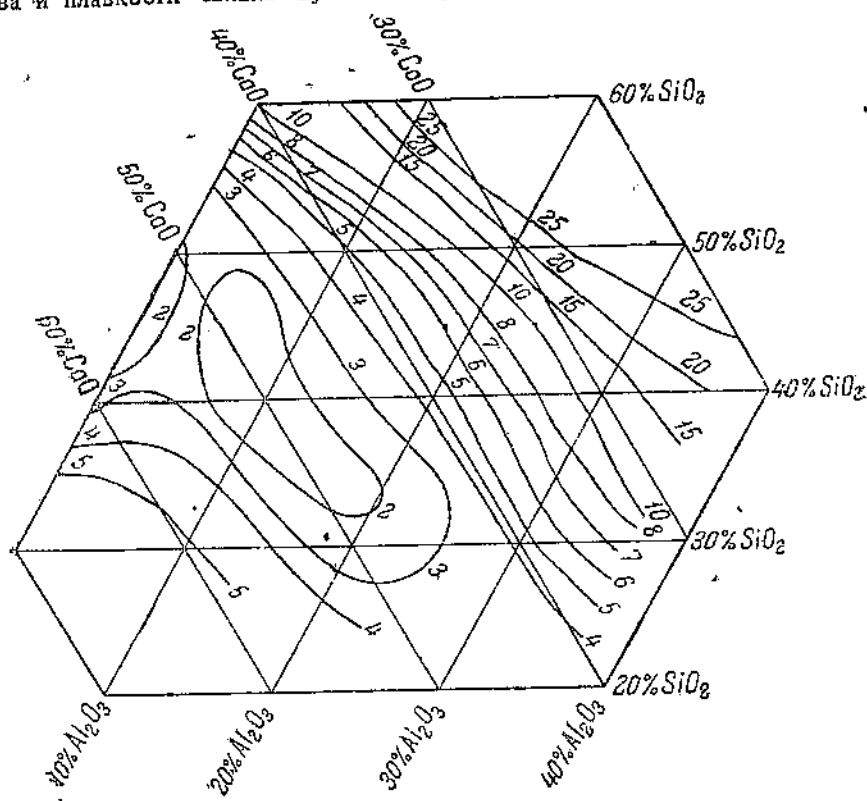
Опубликование его явилось стимулом для развития исследований над вязкостью шлаков в Советском Союзе; далеко не все результаты этих исследований опубликованы, но и в том, что уже опубликовано, находятся существенные дополнения и исправления данных Мак-Кефери.

Все численные данные американских исследователей вязкости шлаков сосредоточены ими в таблице, содержащей химический состав 168 смесей с указанием их вязкости при температурах от 1250 до 1650° через интервалы в 50°. Смеси составлялись не из отдельных окислов, взятых в простых и возможных в действительных шлаках отношениях, а из минералов в разных сочетаниях, поэтому оригинальная таблица исследователей неудобна для пользования, будучи загромождена цифрами, относящимися к смесям, состав которых весьма далек от состава возможных доменных шлаков. В таблице 3 дана выборка из таблицы подлинника; она может служить для справок взамен первоисточника.

¹⁾ R. Mac-Caffery, Viscosity of blast-furnace slags. Trans. Amer. Inst. Min. and Metallurg. Eng., 1932, vol. 100, 64—100.

Очень удобными для пользования являются диаграммы авторов. Копии шести из них воспроизведены здесь на фиг. 8—13. Первые 3 дают вязкость при 1600, 1500 и 1400°, это—трехосные диаграммы, подобные диаграммам Окермана, дающие вязкость в пузах¹⁾ для системы SiO_2 — Al_2O_3 — CaO . Последние три фигуры на двусосных диаграммах указывают влияние магнезии на вязкость шлаков при 1500°.

Уже при беглом взгляде на фиг. 8—10 бросается в глаза зависимость вязкости от температуры. Из этого следует, что при выборе состава и плавкости шлака нужно сообразовать вязкость его с темпера-



Фиг. 8. Диаграмма Мак-Кефери вязкости шлаков при 1600°.

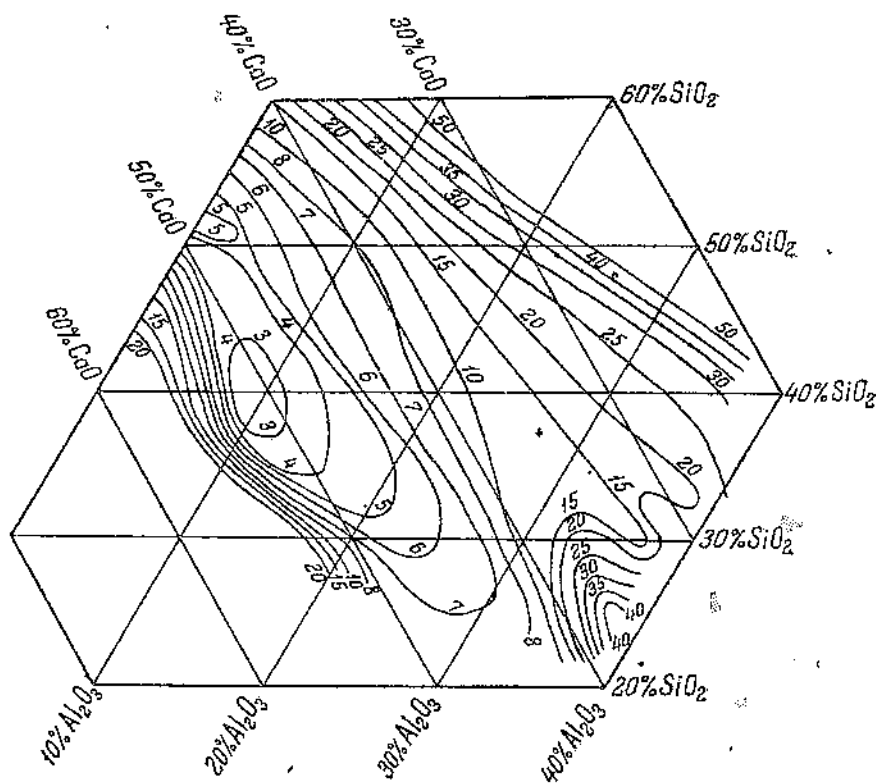
турными условиями, в которых работает горн печи (древесный уголь, кокс; слабо и высоко нагретое дутье). Работа на древесном угле и холодном дутье заставляла прежде считать неудобными для горна такие глиноземистые шлаки, какие после исследования Окермана оказались одними из наиболее легкоплавких. Применение нагретого дутья позволило работать на таких шлаках, каких прежде нельзя было получать в древесноугольных доменных печах.

Что касается печей, работающих на минеральном горючем, то кон-

¹⁾ Пуаз — единица вязкости, в 100 раз большая вязкости воды при 20°.

центрация жара, достигаемая сжиганием его в высоконагретом дутье, позволяет доводить содержание извести (случай южных печей Союза) или глинозема (плавка руды маяри, США) до крайних пределов, считавшихся прежде несовместимыми с правильной работой печи. (В таблицах состава действительных шлаков разных районов будут приведены примеры таких шлаков).

Диаграмма фиг. 8 указывает, что при 1600° шлаки самого разнообразного состава достаточно жидки, в особенности те, которые заключают в себе 48—55% извести. По мере уменьшения степени концентрации извести, вязкость шлаков постепенно и закономерно (без резких скачков) возрастает, но характерно на этой диаграмме очертание тех кривых вязкости, которые лежат за ординатами 45% CaO и менее: они



Фиг. 9. Диаграмма Мак-Кеферн вязкости шлаков при 1500° .

на значительном протяжении параллельны ординатам извести, т. е. шлаки, содержащие 45% CaO и меньше, имеют одинаковую вязкость при постоянном содержании извести, независимо от отношения $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ в них.

На диаграмме фиг. 9 (для 1500°) в том же поле кривые вязкости сохраняют в общем то же направление, но при содержании извести более 50% — в особенности, когда глинозем изменяется от 8 до 15% — вяз-

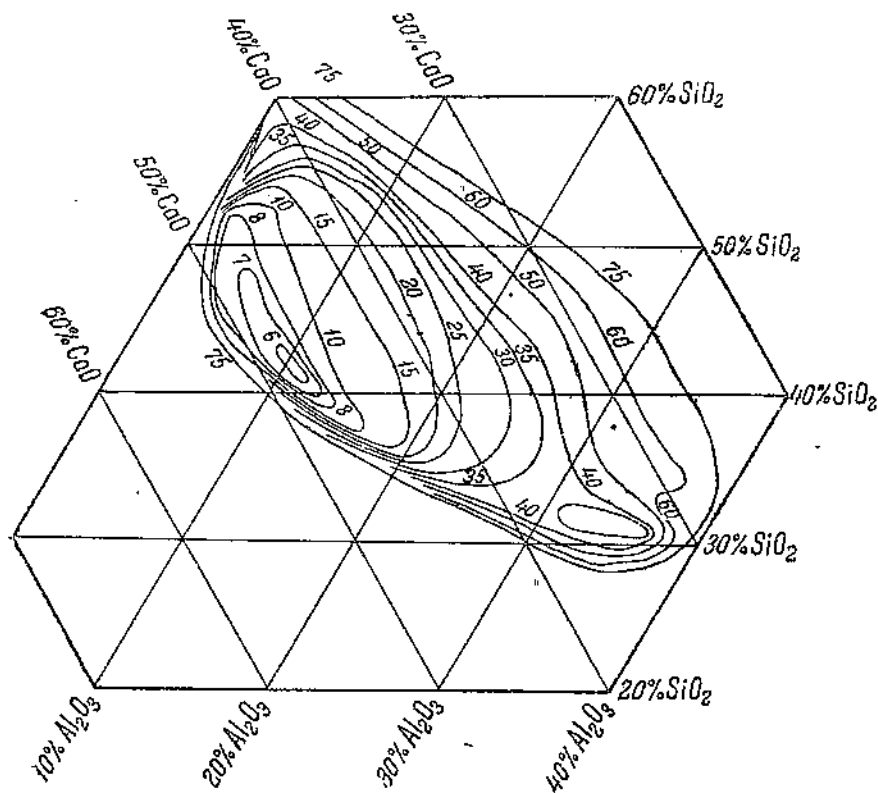
Химический состав и вязкость шлаков
(По таблицам Мак-Кефери)

Химический состав в %				Вязкость в пуазах при:		
А. Кислые шлаки						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	1400°	1450°	1500°
54,2	12,2	27,4	6,2	29	20	13
53,5	9,2	32,7	4,6	20	13	9
52,9	12,2	34,9	—	47	30	20
53,0	7,3	24,8	14,9	7	4,5	3
50,9	6,1	31,2	11,8	7,5	4,5	3,5
48,7	3,7	47,6	—	7,5	5	4
50,0	7,3	42,7	—	11	7	5
48,6	9,2	33,9	8,3	14	6	5
48,3	14,7	37,0	—	22	13,5	9,5
46,6	22,0	31,3	—	45	26	17
45,8	7,4	41,8	—	7	5	3,5
44,9	16,0	32,0	17,1	4	3	2
44,1	14,8	41,1	—	16,5	10,5	7
42,4	22,0	27,5	8,1	24,5	15,5	10
42,0	20,0	38,0	—	26,5	16	11
40,2	18,5	37,6	3,7	15,5	11	8
39,0	24,5	22,9	13,6	7	4,5	3
38,9	24,6	36,5	—	27	17	11
35,4	23,8	30,1	10,7	10	6,5	5
34,1	24,7	38,7	2,5	13	8	5
32,1	29,6	38,3	—	36	19	12,5
28,3	30,9	34,0	6,8	—	9	5
26,3	29,7	41,0	3,0	—	—	4,5
25,5	39,1	25,5	9,9	7,5	5	4
В. Основные шлаки						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	1500°	1550°	1600°
41,9	12,2	32,4	13,5	5	4	3
41,5	12,3	38,8	7,4	6	4,5	4
41,3	8,9	42,8	—	4	3	2,5
39,8	14,9	45,3	—	4,5	3	2,5
39,7	8,0	52,3	—	3	2	1,5
39,6	7,4	41,1	11,9	2	1,5	1
39,3	8,0	45,3	7,4	3	2	1,5
38,1	12,9	28,5	20,5	2	1,5	1
36,8	18,6	44,6	—	5	3,5	2
36,4	15,9	32,0	15,7	3	2,5	2
35,4	14,6	41,1	8,9	3,5	2,5	2
34,5	16,1	49,4	—	3	2	1,5
33,2	13,4	53,4	—	—	7	2,5
32,9	14,2	52,9	—	—	37	3
32,8	19,6	33,5	14,1	3	2,5	2
30,6	22,6	43,1	3,7	4,5	3	2,5
28,4	26,6	36,4	8,6	4	3	2
28,4	21,7	43,5	6,4	4,5	3,5	2,5
26,7	24,7	48,6	—	6	4	3
26,3	29,7	41,0	2,9	4,5	3	2,5
25,2	29,7	39,9	5,2	4	3	2

кость шлаков очень быстро растет при незначительном увеличении в них извести (кривые очень тесно сближены).

На диаграмме фиг. 10 (для 1400°) поле для текучих шлаков сильно ограничено и лежит в тесных пределах — вблизи 48% извести и 10% глинозема; шлак, содержащий 50% CaO , не может быть текучим при 1400° .

О допускаемой в горне доменной печи крайней степени вязкости шлаков можно судить по данным для древесноугольной плавки: она ведется иногда со шлаком, вязкость которого доходит до 25 при 1500° ; такую вязкость имеют шлаки, содержащие $65-70\%$ ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$), например: 55% SiO_2 и 10% Al_2O_3 , 50% SiO_2 и 18% Al_2O_3 , 47%



Фиг. 10. Диаграмма Мак-Кефери вязкости шлаков при 1400° .

SiO_2 и 23% Al_2O_3 ; получения их стараются избегать, несмотря на их сравнительную легкоплавкость (по диаграмме Гау-Бабю).

Наиболее текучие шлаки древесноугольной плавки имеют вязкость около 8 пуазов при 1500° , содержат около 60% ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$), например: 50% SiO_2 и 10% Al_2O_3 , 45% SiO_2 и 15% Al_2O_3 , 40% SiO_2 и 20% Al_2O_3 .

Обычные шлаки коксовой плавки всегда жиже древесноугольных; вязкость их растет от увеличения извести, что сопряжено и с увеличением трудноплавкости. В пределах допустимой трудноплавкости вязкость

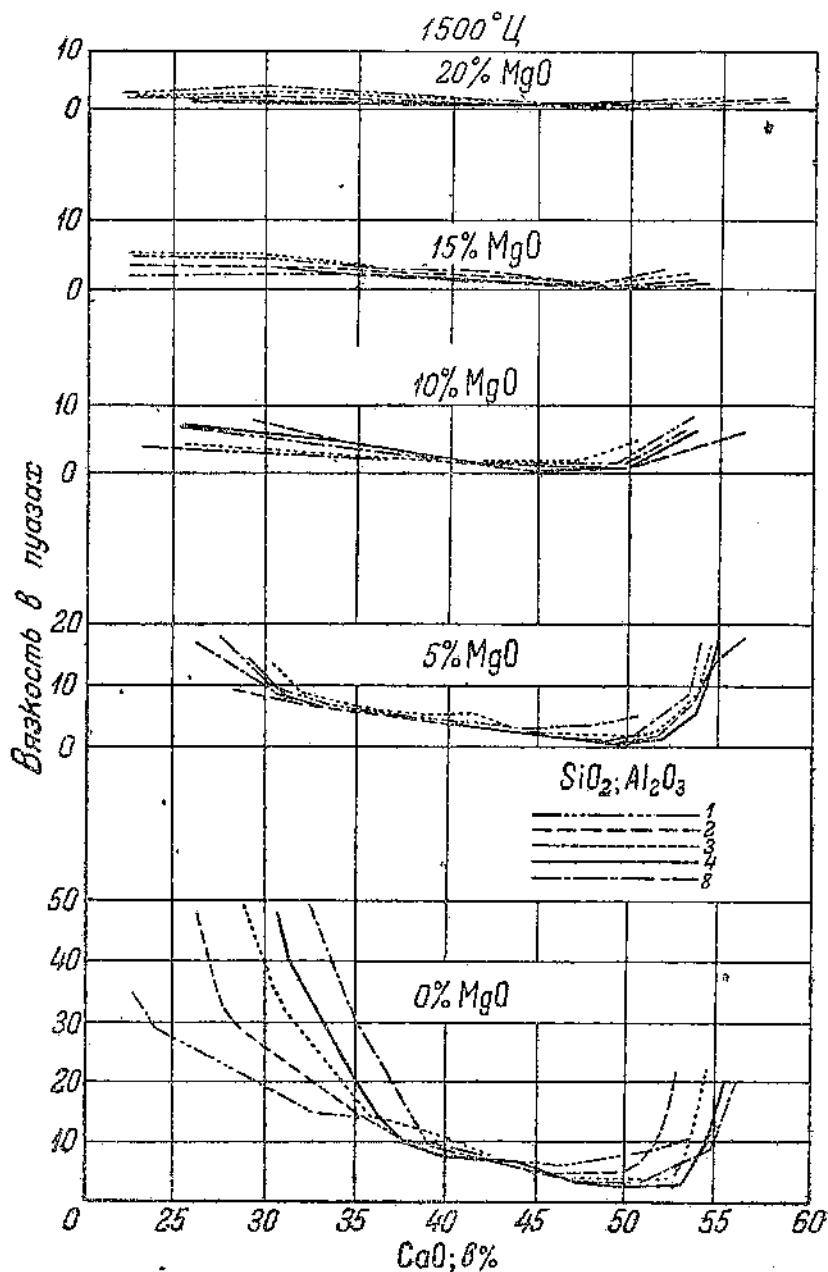
Таблица 4

Вязкость доменных шлаков по Н. В. Рулла.

№	Состав шлаков в %							Вязкость в пузах при:	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	CaS	1450°	1500°
1. Глиноземистые шлаки									
1	40,18	10,20	48,20	0,55	0,10	0,32	0,45	3,2	2,4
2	33,12	13,20	53,50	0,10	—	0,08	—	> 100	100
3	33,45	14,58	57,75	0,14	—	0,08	—	> 100	100
4	35,97	17,59	46,03	0,18	—	0,12	0,11	13,5	7,0
5	27,33	27,40	45,00	0,10	—	0,17	—	7,2	4,5
6	26,14	29,65	44,00	—	—	0,21	—	100	95,2
7	33,55	9,18	49,33	3,95	0,26	0,22	3,51	100	8,2
8	32,11	12,07	48,42	2,03	0,27	0,33	4,77	10,1	4,0
9	31,57	14,01	46,49	2,02	0,22	0,36	5,33	4,1	2,2
10	32,08	15,70	45,27	2,04	0,28	0,67	3,96	18,7	5,6
11	30,79	18,02	44,43	1,85	0,26	0,15	4,50	2,3	1,5
12	29,61	20,48	42,68	1,80	0,25	0,26	4,93	2,0	1,8
13	32,10	11,10	40,80	4,31	4,28	0,71	6,75	при 1400°	2,7
14	31,65	12,22	40,27	4,16	4,53	1,00	6,17	3,5	—
15	31,33	13,20	39,95	4,77	4,04	0,71	6,30	6,5	3,6
16	31,31	14,85	38,66	4,33	4,15	0,53	6,17	2,5	2,0
17	30,65	17,34	37,48	4,28	3,20	0,80	6,35	4,8	3,6
18	29,99	18,81	37,16	4,16	3,25	0,60	6,03	2,5	2,3
19	28,93	21,01	35,80	4,39	3,18	0,71	5,99	12,0	6,2
20	28,06	22,74	35,43	4,11	3,22	0,78	5,65	> 100	9,0
2. Магнезиальные шлаки									
21	34,48	9,16	48,85	2,01	0,26	0,25	4,99	> 100	29,0
22	32,20	8,56	46,35	6,18	0,27	1,27	5,17	> 100	5,8
23	31,99	8,77	45,58	8,53	0,23	0,27	4,63	> 100	5,2
24	30,65	7,86	44,39	10,95	0,27	0,57	5,31	> 100	4,5
25	41,04	13,84	38,93	5,25	0,11	0,86	—	10	7,5
26	35,74	13,61	34,42	15,45	0,08	0,70	—	2,3	1,6

вязкость шлаков коксовой плавки меняется от 2 до 5 пузов при 1500°. Шлаки южных печей Союза бывают более густыми вследствие избытка извести и, следовательно, недостатка кремнезема (в приведенном к сумме SiO₂+Al₂O₃+RO=100 составе до 56% первой при 12—13% глинозема). В нашу таблицу 3 не вошли шлаки подходящего к ним состава, так как таблица Мак-Кефери не дала соответствующего опытного материала. По диаграмме фиг. 8 вязкость наших южных шлаков колеблется в пределах 4—5 пузов при 1600°, на фиг. 9 нет кривых вязкости в соответственном поле диаграммы; можно было бы поэтому думать, что эти шлаки должны иметь температуру не ниже 1550°, чтобы свободно течь из горна.

В действительности шлаки текут из горна при более низкой температуре, что объясняется присутствием примесей к трем главным составным частям шлаков.



Фиг. 11. Диаграмма Мак-Кефери влияния на вязкость шлаков при 1500° магнeзии при разном содержании извести и различных отношениях $Al_2O_3 : SiO_2$.

Содержание глинозема в них бывает таким (10—12%), что при меньшей основности обеспечивает максимум текучести, как видно из диаграммы фиг. 8 и 9.

Обращаясь к диаграммам, уясняющим роль магнeзии, можно сделать следующие выводы. Фиг. 11 показывает, что в шлаках с различными отношениями $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (от 1 до 8) минимум вязкости при 1500° дает (нижняя часть фигуры) содержание извести от 40 до 50% при отсутствии магнeзии, но что уже прибавление 5% ее расширяет пределы содержания извести от 50 до 32%, причем разница в вязкости между шлаками с разными отношениями $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ становится менее резкой. Дальнейшее увеличение содержания магнeзии сглаживает влияние состава шлака на его текучесть, и при 20% MgO все шлаки делаются жидкими в пределах содержания извести от 22 до 58%. Практически говоря, уже 10% MgO гарантируют от получения нетекучих шлаков, в особенности если содержание, в них глинозема велико (наименьшую вязкость магнeзистых шлаков показывает кривая с отношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3=1$).

Это заключение подтверждают и 5 диаграмм фиг. 12, указывающих влияние магнeзии на вязкость шлаков при 1500° с 35% SiO_2 при меняющемся содержании глинозема. Менее всего это влияние сказывается в шлаках с 15—20% Al_2O_3 (т. е. с 50—45% CaO), и без магнeзии достаточно жидких; наоборот, шлаки с 35—30% Al_2O_3 (т. е. 30 и 35% CaO) резко меняют свою вязкость при увеличении магнeзии от 0 до 10%, именно—с 20—14 до 4. Также резко изменяется магнeзией и вязкость шлаков, не содержащих совсем глинозема или имеющих его только 5%.

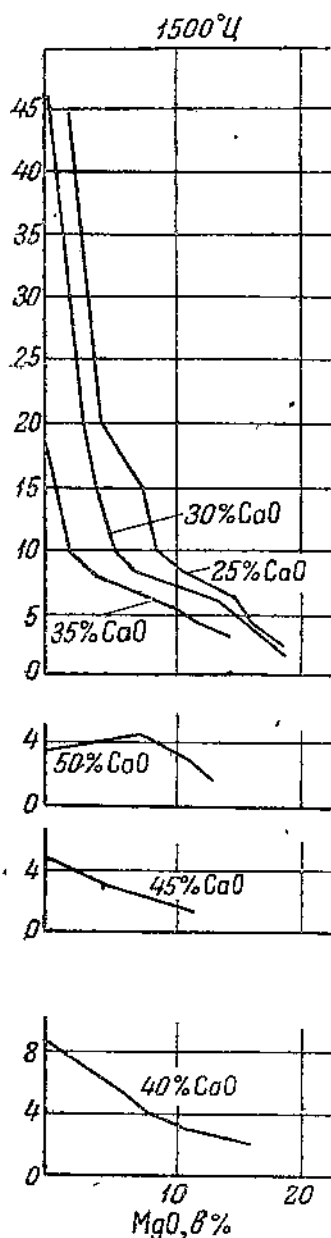
Четыре диаграммы фиг. 13, представляющей изменение под влиянием магнeзии вязкости шлаков с постоянным содержанием глинозема 15% и меняющимся извести, ясно указывают значение относительной кислотности шлаков. При 50% CaO (т. е. 35% SiO_2) влияние магнeзии мало заметно (что видно было и на диаграмме фиг. 11); при 45 и 40% CaO (т. е. 40—45% SiO_2) вязкость шлака—вообще невысокая—уменьшается прямо пропорционально содержанию магнeзии (до 10% ее). На более кислых шлаках оно, это содержание, сказывается очень резко: шлаки с 25—30% CaO (т. е. 60—55% SiO_2) изменяют вязкость при 10% MgO с 45 и большего числа пуазов до 8—7, а с 35% CaO (или 50% SiO_2)—с 18 до 5 пуазов.

Проверку, исправление, а также существенное дополнение данных Мак-Кефери о вязкости шлаков сделал Н. В. Рулла¹⁾ исследованием шлаков южных печей Союза, полученных от плавки криворожской руды.

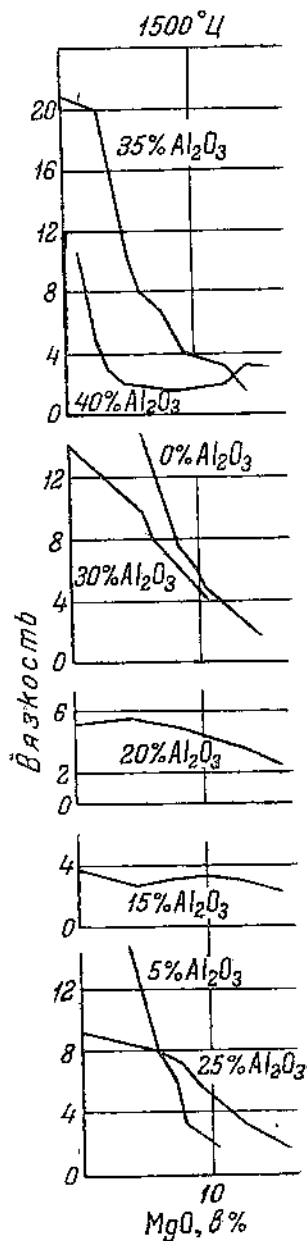
На искусственных синтетических шлаках Рулла проверил точность данных Мак-Кефери и пришел к заключению, что в них есть существенный дефект—по достижении температуры кристаллизации и дальнейшем охлаждении вязкость шлаков, указанная Мак-Кефери, значительно ниже, чем получавшаяся советскими исследователями—как Рулла, так и другими.

Вязкость шлаков от доменных печей оказалась, как и следовало ожидать, более низкой, чем на диаграмме Мак-Кефери.

¹⁾ „Домез“ 1935, № 10, стр. 18—33 и „Теория и практика металлургии“, 1936, № 1, стр. 56—73.



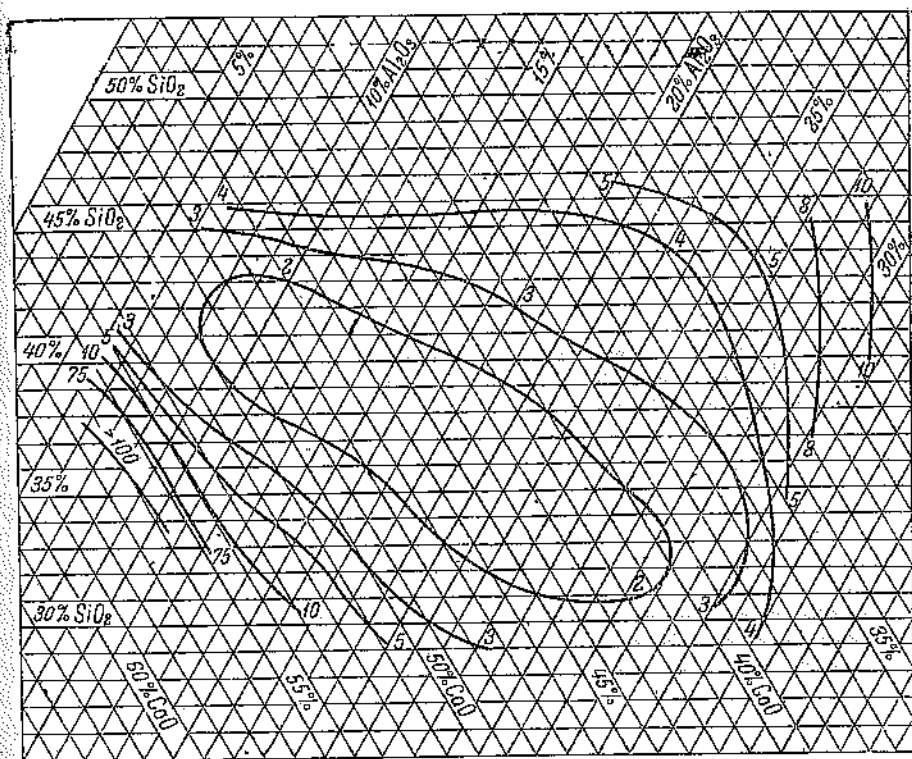
Фиг. 12. Диаграмма Мак-Кефери влияния на вязкость шлаков при 1500° магнезии при постоянном содержании $\text{SiO}_2 = 35\%$ и переменном Al_2O_3 .



Фиг. 13. Диаграмма Мак-Кефери влияния на вязкость шлаков при 1500° магнезии при постоянном содержании $\text{Al}_2\text{O}_3 = 15\%$ и переменном CaO.

Не имея возможности использовать здесь всех данных Рулла полностью, мы даем выборку некоторых численных данных из таблицы 6 его статьи (наша таблица 4), сопоставление (в таблице 5) данных о вязкости по диаграмме Рулла и Мак-Кефери и 2 диаграммы (фиг. 14 и 15) вязкости при 1500° и 1400°¹⁾.

Начиная с них, нужно сказать, что характер кривых на этих диаграммах — тот же, что и на диаграммах Мак-Кефери, а численные значения вязкости хорошо согласуются в обеих диаграммах для 1500°



Фиг. 14. Диаграмма Рулла вязкости шлаков при 1500°.

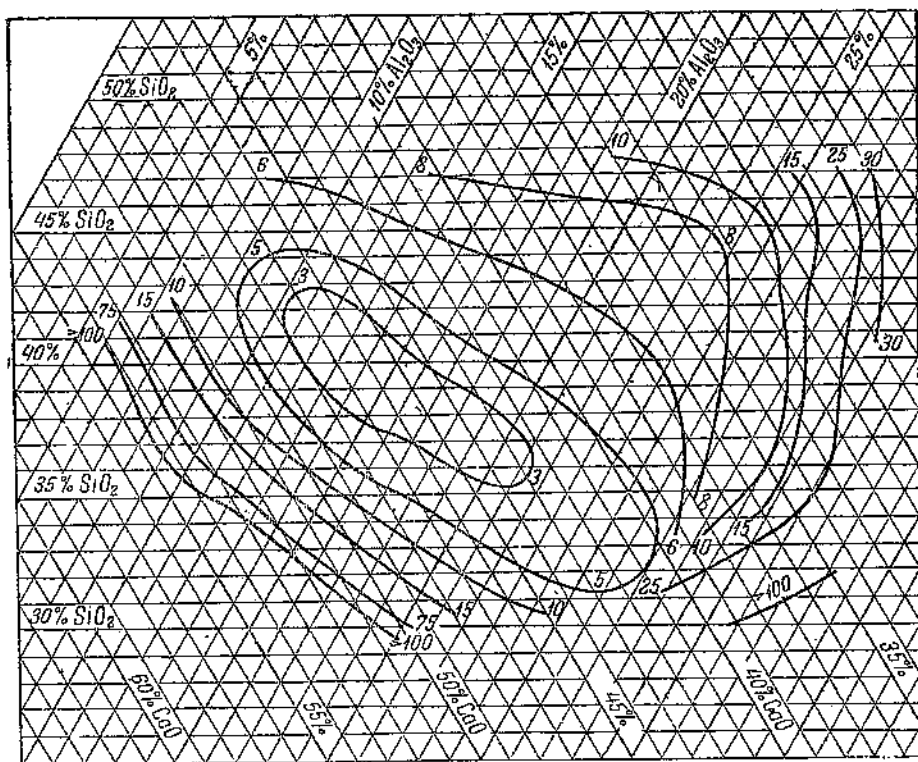
(см. таблицу 5), но для 1400° область текучих шлаков в диаграмме Рулла значительно расширена: на ней оказываются текучими такие шлаки, которые по диаграмме Мак-Кефери имеют вязкость более 75 пуаз (см. таблицу 5). Это, конечно, объясняется тем, что исходные шлаки Рулла были мартеновскими²⁾, содержащими в себе от 2 до 8%₀

1) Диаграмм этих нет в цитированной статье, они получены непосредственно от автора.

2) Исследованию подвергались также литейные и бессемеровские шлаки, но данные диаграммы относятся к шлакам предельного чугуна; в них содержится более MgO и MnO.

суммы $MgO + MnO$ и от 3 до 7% (в большинстве случаев — около 5%) CaS . Для составления диаграммы при пересчете компонентов на сумму 100 исключался CaS .

Из всей совокупности своих исследований Рулла выводит такие закономерности в изменении вязкости шлаков. Оптимальным отношением в шлаках $(SiO_2 + Al_2O_3): CaO$ является 0,95 — 0,98, — шлаки с таким отношением являются наиболее текучими при высоких температурах (выше 1400°), шлаки же с отношением 1,02 — 1,04, — более густые при



Фиг. 15. Диаграмма Рулла вязкости шлаков при 1400° .

высоких температурах, — все же достаточно текучи при 1350° , когда первые шлаки совершенно лишены текучести. В общем, сделанное нами раньше указание, что наиболее текучими оказываются шлаки с отношением $(SiO_2 + Al_2O_3): CaO = 1$ подтверждается и данными Рулла.

В отношении влияния глинозема (см. шлаки 1—20 табл. 4) нужно отметить указание Рулла на присутствие двух максимумов вязкости в глиноземистых шлаках; при отношении $CaO: SiO_2 = 1,43$ эти максимумы лежат при 12 и при 16% Al_2O_3 , а при отношении 1,25 — при 13 и 17% Al_2O_3 . Эти выводы Рулла подтверждают заключение, которое впервые дал Фейльд, — заключение, опровергнувшееся данными Мак-Кефери.

Сопоставление данных о вязкости шлаков по диаграммам
Мак-Кефери и Рулла

№	Состав шлаков в %			Вязкость в пузах			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	при 1400°		при 1500°	
				Рулла	Мак-Кефери	Рулла	Мак-Кефери
1	40	10	50	6	45	2	3
2	38	10	52	15	75	3	3
3	35	10	55	100	нет	75	20
4	40	15	45	3	12	2	5
5	35	15	50	12	75	3	4
6	30	15	55	100	нет	75	20
7	40	20	40	5,5	20	2,5	9
8	35	20	45	3	75	2	5
9	30	20	50	75	75	4	7
10	40	25	35	7	35	3,5	12
11	35	25	40	5	35	2	8
12	30	25	45	10	75	2,5	6

Увеличение содержания извести в шлаке повышает пропорционально температуру плавления шлака и вместе с тем его вязкость при данной температуре, а также — скорость застывания.

Хотя в общем Рулла и подтверждает снижение вязкости шлака от увеличения в нем содержания магнезии, но действие ее не в такой степени магическое, как усматриваемое из диаграммы Мак-Кефери (фиг. 11). Вязкость резко падает от введения в южные шлаки первых 4% MgO, а дальнейшее увеличение концентрации ее производит меньший эффект, притом — неодинаковый для шлаков разной степени основности и с разным содержанием глинозема (см. шлаки 21—27 табл. 4). Этот вывод подтверждается исследованием И. П. Семика, изучавшего вязкость магнитогорских шлаков¹⁾. Прибавляя к шлаку, содержащему 40,2% SiO₂, 17,4% Al₂O₃, 37,0% CaO, 1,52% MgO, 4,5% MnO и 0,5% FeO, магнезии до 10,79%, Семик получил для вязкости при 1350° следующие значения:

MgO в шлаке, %	1,52	5,10	7,35	8,68	10,79
Вязкость, пуаз	24,5	19,2	15,2	11,8	11,8

Увеличение содержания магнезии на 7% понизило вязкость при 1350° в два раза; оптимальная концентрация магнезии в магнитогорских шлаках, значит, близка к 8,5%.

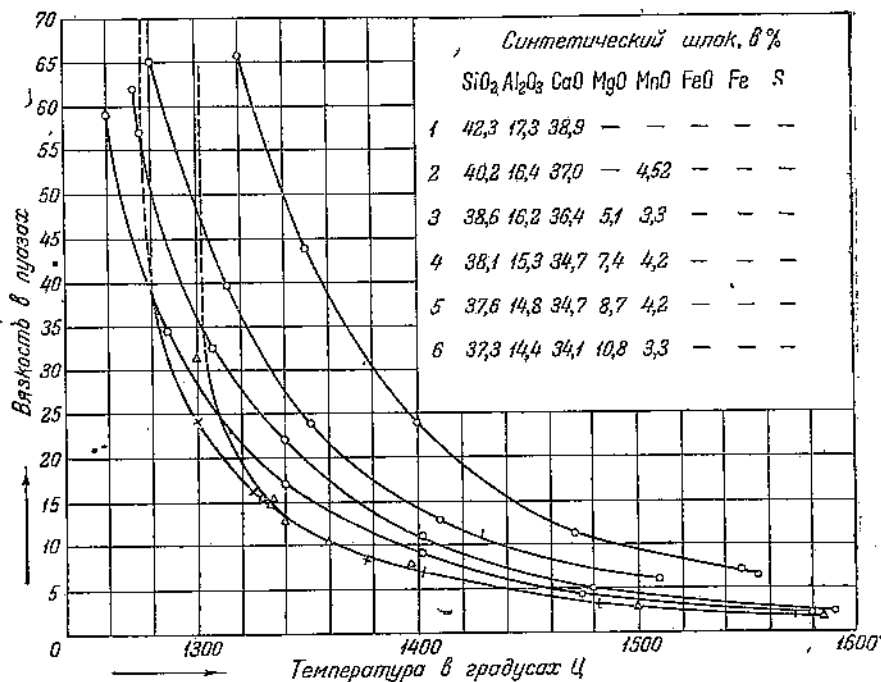
Диаграмма Семика (фиг. 16) указывает изменение вязкости магнитогорского шлака с различным содержанием магнезии в зависимости от температуры. Различие в вязкости двух из исследованных шлаков — пер-

¹⁾ „Советская Металлургия“, 1937, № 6, стр. 35.

вого (исходного) и второго, содержащего 4,5% MnO, — позволяет установить влияние такой прибавки закиси марганца на текучесть шлаков. По данным исследования вязкость при разных температурах изменилась так:

Температура °C	1350	1400	1450	1500	1550
Исходный шлак	44,0	23,8	14,0	9,5	6,6
Шлак с 4,5% MnO	24,4	14,0	8,9	6,4	6,0

Влияние закиси марганца на вязкость шлаков было предметом особо обстоятельных исследований С. К. Трекало¹⁾. Результаты его



Фиг. 16. Диаграмма Семика вязкости магнитогорских шлаков с различным содержанием MgO при различных температурах.

для части исследованных доменных шлаков даны в таблице 6 для температуры 1500 параллельно с данными о вязкости по диаграмме Мак-Кефери (для пересчитанных на 100 трех компонентов). Как видно из цифр табл. 6, согласие между двумя рядами цифр очень хорошее, за исключением шлаков, содержащих более 15% MnO (что вполне естественно).

Приводим некоторые выводы исследователя, вытекающие из совокупности полученных им результатов. Шлак может содержать много MnO (напр. 10%) и быть чрезвычайно вязким. Это — слишком основной шлак (CaO : SiO₂ = 1,88), неплавкий без закиси марганца; понижение

¹⁾ Цитированная раньше статья С. К. Трекало — извлечение из его диссертации.

указанного отношения до 1,67 делает обыкновенный шлак, почти без MnO , менее вязким, чем марганцовистый с отношением 1,88. Для менее трудноплавких шлаков, текучих при более низких температурах (напр. 1450°), прибавка только 2—3% MnO резко понижает вязкость шлака; максимум понижения наблюдается около 6% MnO ; дальнейшее повышение содержания MnO в шлаке уже слабо сказывается на его текучести. В общем, введение закиси марганца в шлак значительно расширяет область температур, в которой шлаки остаются жидкими (это объясняется резким понижением температуры плавления шлаков под влиянием закиси марганца, о чем говорилось раньше).

Влияние сернистого кальция на вязкость шлаков впервые и недавно установлено советскими исследователями. Первые, ориентировочные данные по этому вопросу были получены (в 1932 г.) в лаборатории б. ЦИМа, где по нашей инициативе было произведено определение текучести наших нормальных шлаков с 3, 6 и 9% CaS остыванием их на

Таблица 6

Вязкость марганцовистых шлаков по Трекало

№	Состав шлаков в %							Вязкость при 1500° в пузах	
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	FeO	CaS	Трекало	Мак-Кефери
1	35,48	8,08	48,19	1,3	0,52	0,38	4,82	4,1	4
2	37,02	8,08	42,72	1,89	2,84	0,95	4,50	3,2	3
3	33,68	8,19	41,74	3,03	6,67	0,69	4,90	3,3	3,5
4	34,60	8,90	39,50	2,84	7,64	0,64	4,80	2,9	3
5	33,00	9,62	37,30	2,51	9,93	0,55	5,78	3,0	3,5
6	28,40	8,58	45,28	2,40	10,06	0,59	3,80	17,0	20
7	32,88	8,04	36,60	2,41	12,00	0,46	6,19	3,0	3,0
8	27,76	9,92	42,00	2,42	12,79	0,52	3,80	10,0	10
9	31,90	8,40	32,20	2,57	17,33	0,75	4,80	2,3	4
10	32,04	7,32	28,83	2,60	22,42	0,65	5,49	2,0	5

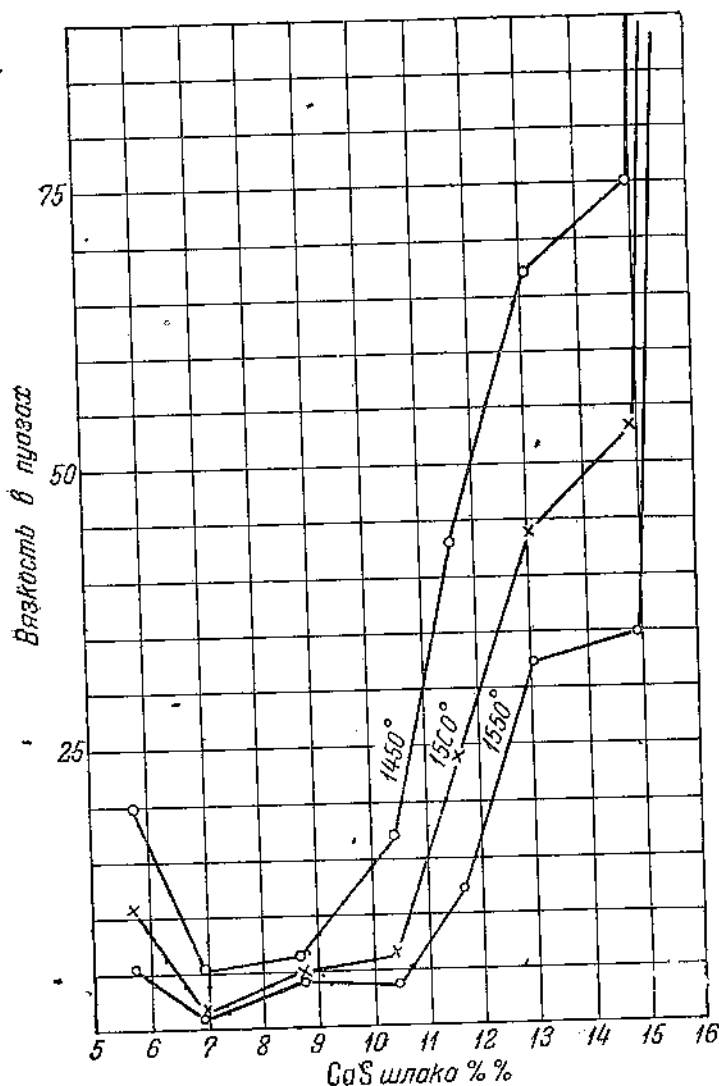
Таблица 7

Вязкость сернистых шлаков по Рулла

№	Состав шлаков в %							Вязкость в пузах при температуре:	
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	FeO	CaS	1400°	1450°
1	32,89	9,16	42,56	4,88	4,38	0,66	5,47	6,1	3,6
2	33,45	9,11	40,93	4,76	4,56	0,44	6,75	3,0	1,6
3	33,34	9,00	40,95	3,78	4,00	0,39	8,60	8,2	5,3
4	33,02	8,59	39,97	3,50	3,90	0,62	10,40	30,6	10,3
5	32,58	8,82	39,22	3,31	3,97	0,62	11,42	30,6	15,6
6	32,12	8,75	39,06	3,10	3,95	0,77	12,25	75,0	18,5
7	31,22	8,66	37,86	3,00	3,96	1,06	14,24	> 100	52,8

наклонном жолобе (из углового железа). По длине струи застывшего шлака и отношению ее к весу пробы можно было вывести заключение, что 3% CaS не производят заметного действия на вязкость, 6% — уменьшают ее, а 9% — увеличивают.

Более точные исследования, с помощью вискозиметра были выпол-

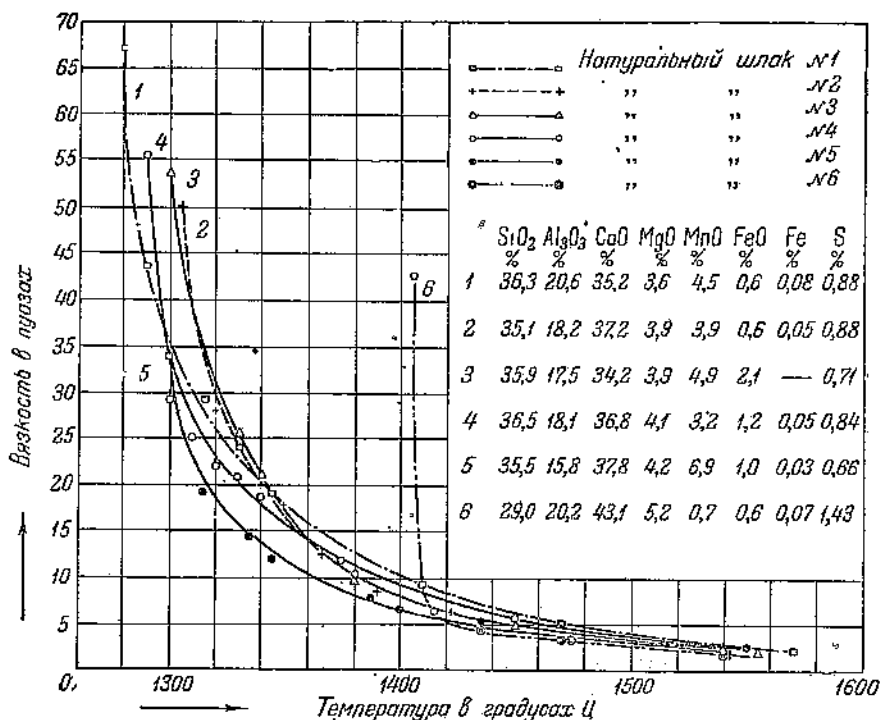


Фиг. 17. Диаграмма Рулла влияния на вязкость шлаков CaS при различных температурах.

нены Рулла. По личному его сообщению автору, результаты измерений вязкости (данные здесь в таблице 7) показали, что прибавление к сравнительно легкоплавкому шлаку передельного чугуна южных заводов с отношением $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{CaO} = 1 - 1,05$ сернистого кальция до содержания 6,5% производит понижение вязкости, а дальнейшее

увеличение концентрации CaS в шлаке вызывает значительное увеличение вязкости. Это действие CaS еще резче выражается на южном шлаке более основном (от литейного или бессемеровского чугуна) с отношением $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{CaO} = 0,88$, содержащем: 36,5% SiO_2 , 7,0% Al_2O_3 , 48,9% CaO и 5,8% CaS (при ничтожном — MnO и FeO). Изменения вязкости этого шлака при разных температурах представлено здесь графически на фиг. 17.

Исследование Л. Цылева подтверждает данные Рулла, хотя факт понижения вязкости шлаков при увеличении содержания CaS



Фиг. 18. Диаграмма Семика вязкости магнитогорских шлаков с различным содержанием Al_2O_3 при различных температурах.

до 6% подмечен не для всех изученных им шлаков; резкое же увеличение вязкости прослежено до 11% CaS .

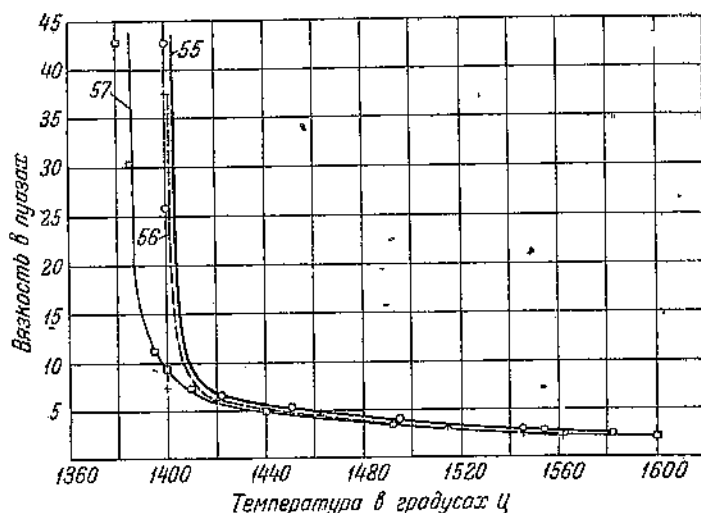
Так как шлаки южных печей Союза являются наиболее сернистыми среди всех, получаемых в разных металлургических районах, то, основываясь на данных Рулла и Цылева, можно сделать вывод, что введение серы в шлак с помощью CaS обыкновенно не вызывает его загустения, — наоборот, увеличение CaS до 7% скорее может вызывать лучшую текучесть; лишь в редких случаях советской практики, когда при работе на сильно сернистом коксе концентрация CaS доходит до 9%, переход серы в шлак увеличивает его вязкость.

И. П. Семик, специально изучавший вязкость магнитогорских шлаков в их естественном составе, дал диаграмму вязкости их, представленную здесь фиг. 18.

Различие в текучести разных образцов магнитогорских шлаков, в которых содержание глинозема менялось от 15 до 20%, не велико, кроме очень трудноплавкого основного шлака (6), который залил фурмы.

Прибавляя к шлаку магнитогорского типа сернистый кальций в таком количестве, чтобы иметь 3, 6 и 8% CaS в шлаке, и исследуя вязкость полученных таким образом смесей, Семик получил результаты, собранные нами в табл. 8 и представленные здесь характерными кривыми фиг. 19.

Как видно из таблицы, введение и 3 и 6% CaS понижало вязкость шлаков, хотя и в очень слабой степени, но повышение содержания CaS до 8% дало более густой шлак, определить вязкость которого ниже 1500° нельзя было.



Фиг. 19. Диаграмма Семика влияния на вязкость магнитогорских шлаков CaS при различных температурах.

Кривые фиг. 19 отчетливо показывают, что кристаллизация (при охлаждении) изучавшихся шлаков начинается при 1420° и заканчивается при 1400°.

Таблица 8

Вязкость магнитогорских шлаков с различным содержанием CaS

№	Состав шлака в %						Вязкость в пуазах при		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	CaS	1400°	1450°	1500°
1	31,0	18,8	44,2	4,0	2,0	0,0	тв.	5,3	3,8
2	30,8	18,7	41,5	4,0	2,0	3,0	тв.	5,0	3,5
3	30,6	18,6	39,0	4,0	2,0	6,0	3,2	4,7	3,3
4	30,4	18,5	37,2	3,9	1,9	8,0	тв.	9,2	4,7

Наконец, на Урале была исследована вязкость исключительно глиноземистых шлаков, полученных в 1935 г. от плавки бокситов „Красной Шапочки“ и содержавших 45—56% глинозема и очень мало кремнезема (2,75—8%₀).

Таких шлаков нельзя найти на диаграммах Окермана и Мак-Кефери; они находятся в весьма ограниченной области третьего минимума диаграммы Ренкина, между эвтектическими точками: 15 (1335°), Т (1350°), 14 (1335°), 13 (1380°) и нулевой линией кремнезема. За пределами расположения этих точек (вверх, справа и слева) температуры быстро растут как от увеличения, так и от уменьшения извести и глинозема.

По диаграмме В. Михайлова и А. Вальдмана¹⁾ вязкость двух образцов (с максимумом и минимумом содержания кремнезема) выражалась так:

Химич. состав в %				Вязкость в пузах при:				
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	1400°	1450°	1500°	1550°	1600°
2,8	49,2	47,2	0,7	75	28	8	3	2
7,5	56,9	33,1	0,7	тв.	тв.	14	7	6

Введением добавок в высокоглиноземистые смеси было показано, что вязкость расплавленных смесей растет от увеличения как кремнезема (выше 10%₀), так и закисей марганца и железа; что введение магнезии оказывает очень слабое разжижающее действие и что оптимальным — в отношении текучести — содержанием извести является 46—47%₀, уменьшение его резко увеличивает вязкость этих шлаков (что делается понятным и из рассмотрения соответственного поля диаграммы Ренкина).

5. Используя данные Мак-Кефери и присоединяя к ним результаты исследований Ренкина и Окермана, можно сделать сопоставление их для шлаков, состав которых представляет особый интерес.

В таблице 9 сделано такое сопоставление для шлаков, состав которых отвечает точкам диаграммы Ренкина двойных (М, О, N, S) и тройных (2, 5, 6, 7) эвтектик. В таблицах 10—13 то же сделано для шлаков, содержащих 46, 48, 50 и 52% извести. Все эти шлаки отличаются достаточной плавкостью и текучестью в пределах содержания кремнезема от 42 до 16%₀ и глинозема от 10 до 36%₀. Для последних двух шлаков таблицы 11 не имеется экспериментальных данных о плавкости и текучести, но пригодность их (несмотря на отношение SiO₂:Al₂O₃ около 0,5) доказана работой американских печей на руде майяри. Шлаки, несколько менее глиноземистые, с отношением SiO₂:Al₂O₃ от 0,75 до 1,0, нигде до сих пор не получавшиеся, показали себя удобными при опытной плавке Халиловской руды на Липецком заводе. Отношение от 1 до 1,25 характерно для кливлендских шлаков, издавна считающихся наиболее пригод-

¹⁾ В. Михайлов и А. Вальдман, Изучение физико-химических свойств высокоглиноземистых шлаков. „Уральская Металлургия“, 1935, № 10, стр. 8.

Таблица 9

Сопоставление данных Окермана, Ренкина и Мак-Кефери для состава шлаков в точках двойных и тройных эвтектик диаграммы Ренкина

Точка диаграммы	Состав шлака в %			Плавкость		Вязкость в пузах		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Окерман	Ренкин	1400°	1500°	1600°
M	47,3	18,6	34,1	385	1299	30	17	8
O	41,1	13,2	45,7	355	1316	12	5	3
N	33,0	36,8	30,2	390	1385	70	20	12
S	26,7	23,7	49,6	450	1545	?	8	3
2	62,0	14,75	23,25	—	1165	—	—	(?)
5	42,0	20,0	38,0	355	1265	28	17	6
6	41,0	11,8	47,2	355	1310	12	4	2,5
7	31,8	39,0	29,2	390	1380	75	20	12

ными для выплавки литейного чугуна. Первые 3 шлака таблиц — и по плавкости и по химическому составу — наиболее благоприятны для работы на мартеновский и томасовский чугуны; они обладают достаточной текучестью даже при 1400°.

Высокое содержание серы в минеральном горючем заставляет вести плавку на шлаках, содержащих 48% и более извести. Такие шлаки по совокупности всех своих физических свойств удобоприменимы в гораздо более тесных пределах содержания главных составных частей.

Таблица 10

Сопоставление данных Окермана, Ренкина и Мак-Кефери для шлаков, содержащих 46% CaO

Состав шлака в %			Плавкость		Вязкость в пузах		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Окерман	Ренкин	1400°	1500°	1600°
42	12	46	350	1310	10	5	3
40	14	46	350	1350	10	5	2,5
38	16	46	350	1400	12	4,5	2
36	18	46	350	1475	25	4,5	2
34	20	46	360	1500	75	5	2,5
32	22	46	380	1525	—	5	2,5
30	24	46	400	1550	—	5,5	3
28	26	46	420	1550	—	6,5	3,5
26	28	46	440	1550	—	7,0	3,5
24	30	46	440	1550	—	7,5	4
22	32	46	—	1550	—	—	—
20	34	46	—	1550	—	—	—

Таблица 11

Сопоставление данных Окермана, Ренкина и Мак-Кефери для шлаков, содержащих 48% CaO

Состав шлака в %			Плавкость		Вязкость, в пузах		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Окерман	Ренкин	1400°	1500°	1600°
42	10	48	365	1350	7	4	2
40	12	48	355	1335	7	4	2
38	14	48	355	1400	10	>3<4	<2
36	16	48	360	1450	—	>4<5	<2
34	18	48	380	1500	—	>4<5	<2
32	20	48	410	1525	—	5	2
30	22	48	420	1525	—	>5<6	>2<3
28	24	48	430	1550	—	>7<8	3
26	26	48	450(?)	1550	—	>7<8	>3<4
24	28	48	>450	>1575	—	>7<8	4
22	30	48	>450	>1550	—	8	4
20	32	48	?	>1500	—	>8<10	4
18	34	48	?	>1475	—	10(?)	>4(?)
16	36	48	?	1450	—	?	?

В таблицах 12 и 13 дано сопоставление физических свойств и химического состава для шлаков с 50 и 52% извести. Как видно из таблицы 13, шлаки ее гораздо более трудноплавки, чем шлаки таблицы 12. Текучесть их тоже ниже. Лишь первые два могут применяться для вы-

Таблица 12

Сопоставление данных Окермана, Ренкина и Мак-Кефери для шлаков, содержащих 50% CaO

Состав шлаков в %			Плавкость		Вязкость в пузах		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Окерман	Ренкин	1400°	1500°	1600°
42	8	50	380	1350	75	3	2
40	10	50	370	1400	65	3	2
38	12	50	360	1450	75	3,5	2
36	14	50	370	1500	75	3,5	2
34	16	50	380	1525	75	4	2
32	18	50	410	1550	—	—	2
30	20	50	425	1550	—	7	2,5
28	22	50	440	1575	—	7,5	3
26	24	50	440	1600	—	8	3,5
24	26	50	—	1550	—	8	4
22	28	50	—	1550	—	?	4
20	30	50	—	1550	—	?	?

плавки передельного чугуна. Последний шлак таблицы 13 едва ли пригоден для длительной работы, хотя бы на литейный чугун,—и не только по своей трудноплавкости, но и по отсутствию текучести.

6. Шлак может обладать достаточной подвижностью в расплавленном состоянии и подходящей степенью трудноплавкости, имея различный состав; рациональный метод расчета шихты предполагает выбор такого шлака, какой, будучи удовлетворительных физических свойств, имел бы и химический состав, благоприятствующий получению данного сорта чугуна, затрудняя переход серы в чугун и способствуя восстановлению марганца и кремния, или затрудняя восстановление последнего, когда это требуется.

Таблица 13

Сопоставление данных Окермана, Ренкина и Мак-Кефери для шлаков, содержащих 52% CaO

Состав шлака в %			Плавкость		Вязкость в пуазах		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Окерман	Ренкин	1400°	1500°	1600°
40	8	52	380	1500	≥ 75	3	2
38	10	52	380	1500	≥ 75	3	2
36	12	52	390	1500	≥ 75	4	2
34	14	52	400	≤ 1600	—	5	≥ 2 < 3
32	16	52	410	1600	—	8	≥ 2 < 3
30	18	52	440	≥ 1600	—	15	3
28	20	52	450	1700	—	≥ 20	> 3 < 4

Сера тем в больших количествах удерживается шлаком, чем выше в нем содержание CaO (или сумма CaO + MgO + MnO для передельных чугунов); практически это содержание колеблется, при работе на минеральном горючем в пределах 45—50%, причем более высокая цифра соответствует более сернистому горючему.

Таким образом, присутствие серы в минеральном горючем исключает возможность получения кислых шлаков при ведении плавки на этом горючем. Наибольшее содержание кремнезема в шлаках современных коксовых печей не превосходит 38% (т. е. 40% приблизительно в шлаках без CaS).

Шлаки древесноугольных доменных печей резко отличаются от получающихся на минеральном горючем, более или менее низким содержанием в них CaO (или суммы CaO + MgO), даже и в том случае, когда они оказываются основными, так как основность их достигается за счет избытка глинозема. Шлаки эти, хотя и удерживают в себе часть серы шихты, не могут дать чистого чугуна при высоком содержании S в руде; обессеривание достигается в этом случае не шихтовкой, а тщательным обжигом сернистых руд.

Поднота восстановления марганца тоже находится в прямой зависимости от содержания CaO в шлаке; чем оно выше или, лучше сказать, чем выше отношение (CaO + MgO) : SiO₂, тем меньше при всех

прочих одинаковых обстоятельствах переходит марганец в шлак, причем все же редко марганца восстанавливается более 80% всего его количества, принятого пчью (т. е. за исключением указанного газами).

Так как получение наиболее основного известкового шлака часто сопровождается загромождением горна скоплением неплавких масс, то полезно более или менее значительную часть (до $\frac{1}{4}$) извести в шлаке заменить магнезией, применяя доломит в качестве флюса; таким образом, в случае подходящих экономических условий (если доломит не особенно дорог) хорошие шлаки ферромангана должны заключать до 12% MgO на 38—36% CaO .

В настоящее время такие условия созданы для южных печей Союза добычей магнезильного известняка в районе Еленовки и южные доменные печи стали применять магнезиальные шлаки при выплавке зеркального чугуна и ферромангана, но содержание магнезии в этих шлаках ограничивается 5—6%.

Восстановление кремния, наоборот, затрудняется присутствием значительных количеств извести и магнезии в шлаке и, при всех прочих одинаковых обстоятельствах, затрата горючего на перевод определенного количества кремния в чугун тем менее, чем выше в шихте сумма $SiO_2 + Al_2O_3$ — и абсолютно (по весу), и относительно (в процентах).

Как уже было сказано, в случае древесноугольной плавки эта сумма может доходить до 70% веса шлака и такое ее значение может быть одобрено в случае выплавки наиболее „спелого“ чугуна.

Работа на сернистом минеральном горючем принуждает, ввиду необходимости бороться с вредным влиянием серы, держать сумму $(SiO_2 + Al_2O_3)$ в пределах 45—50% и при производстве литейного чугуна. Меньшее значение, т. е. 45% не благоприятствует получению литейного чугуна, вызывает излишний расход горючего, но оно бывает неизбежно при работе на сернистом коксе (1,5% S и выше); в этом случае содержание $CaO + MgO$ в литейных шлаках часто бывает то же, что и при производстве передельных чугунов, но глинозема в сумме $(SiO_2 + Al_2O_3)$ таких шлаков всегда должно быть больше, чем в шлаках передельного чугуна, так как последние должны быть гораздо легкоплавче.

Незначительное содержание S в горючем (около 1%) позволяет с выгодой установить высшее из указанных значений суммы $(SiO_2 + Al_2O_3)$, т. е. 50%. Особо горячий ход печи дает возможность еще несколько увеличить это число, так как чем выше температура в печи, тем, во-первых, больше серы улетучивается, т. е. ускользает от распределения между чугуном и шлаком и, во-вторых, из всякого данного количества ее больше переходит в шлак.

Этим пользуются иногда при производстве ферросилиция, допуская образование довольно кислых и легкоплавких шлаков, напр., содержащих 42—40% SiO_2 (при 10—12% Al_2O_3), безнаказанно, так как при получении этого сплава серы уносится газами около $\frac{1}{2}$ всего ее количества (высокий нагрев дутья и большой расход кокса).

Наибольшего своего значения сумма кремнезема с глиноземом достигает при работе на литейный чугун с весьма глиноземистой рудой или с топливом, содержащим очень мало серы. Первый случай мы встре-

Нормативные шлаки для выплавки различных

	Ферросилиций				Литейные чугуны			
	Кремнистая шихта		Глиноземистая шихта		Глиноземистая шихта		Обыкновенная шихта	
SiO ₂	42	40	30	30	28	30	30	32
Al ₂ O ₃	10	12	20	22	22	20	17	15
FeO + MnO	—	—	—	—	1	1	1	1
CaO + MgO	43	43	45	43	44	44	46	46
CaS	5	5	5	5	5	5	6	6
SiO ₂	44,2	42,1	31,6	31,6	29,8	31,9	32,3	34,4
Al ₂ O ₃	10,5	12,6	21,0	23,1	23,4	21,3	18,2	16,2
RO	45,3	45,3	47,4	45,3	46,8	46,8	49,5	49,4
Вязкость при 1500° . .	4	4	5,5	5,5	6	6	5	5
Теплота плавления . .	360	355	400	390	410	400	405	395
Температура плавления	1375	1325	1525	1525	1525	1525	1500	1500
Степень кислотности .	1,21	1,09	0,71	0,66	0,65	0,72	0,76	0,86
SiO ₂ :Al ₂ O ₃	4,2	3,3	1,50	1,37	1,27	1,50	1,77	2,13
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃):RO . .	1,21	1,21	1,11	1,21	1,14	1,14	0,94	1,02
RO:SiO ₂	1,02	1,07	1,50	1,43	1,57	1,47	1,53	1,44

чаем в Кливленде, где указанная сумма доходит до 54 и даже 56% при отношении SiO₂:Al₂O₃ около 1,25. Таким составом шлака очень облегчается восстановление кремния, а переход серы в чугун дается горячим ходом печи и надлежащей высотой отношения (CaO + MgO):SiO₂, которое в таких шлаках не спускается ниже 1,3, так как высокое содержание глинозема сильно понижает % содержания кремнезема.

Производство чугуна для передела основным процессом („основной“ чугун американских и английских авторов) в таких случаях, т. е. при низком отношении кремнезема к глинозему, требует понижения суммы SiO₂ + Al₂O₃, т. е. ведения плавки на более известковых шлаках, чем при ходе на литейный чугун; этим достигается понижение в чугуне и кремния и серы одновременно.

Второй случай относится к условиям плавки на коксе и каменном угле пласта „Мощного“ Кузнецкого бассейна. Как показала сначала работа старых уральских печей, а затем — магнитогорских и кузнецких, сумма SiO₂ + Al₂O₃ может свободно достигать при работе на кузнецком коксе 56% и даже быть более значительной без вреда для качества чугуна. Что касается угля пласта „Мощный“, то работа на нем дала в доменной печи Гурьевского завода чистейший по сере чугун (с 0,02% S) при шлаке, содержащем: 42% SiO₂ + 19% Al₂O₃ + 39% (CaO + MgO); несколько повышенная вязкость (9 пуазов при 1500°) несколько не мешала работе, а легкоплавкость (355 кал. и 1300°) способствовала получению мелкозернистого мартеновского чугуна.

Таблица 14

Сорт чугуна на минеральном горючем

Переделные чугуны				Марганцевые чугуны			
Бессемеровский		Мартеновский		Зеркальный		Ферроманган	
34	35	36	38	32	30	30	28
12	10	12	10	10	12	10	12
2	2	3	3	6	6	8	10
47	48	44	44	47	47	47	45
5	5	5	5	5	5	5	5
36,6	37,6	39,1	41,3	36,0	33,7	34,5	33,0
12,9	10,8	13,1	10,9	11,2	13,5	11,5	14,1
50,5	51,6	47,8	47,8	52,8	52,8	54,0	52,9
3,5	3	4	3,5	4	5	4	4
370	380	355	360	400	410	420	420
1400	1400	1350	1325	1600	1600	1650	1700
0,95	1,0	0,94	1,17	0,93	0,84	0,82	0,80
2,13	3,5	3,0	3,8	3,2	2,50	3,0	2,33
0,92	0,94	1,09	1,09	0,89	0,89	0,85	0,90
1,38	1,37	1,22	1,16	1,47	1,56	1,56	1,60

Восстановление фосфора, входящего в довольно значительном количестве (1,7—2%) в состав томасовского чугуна, не предъявляет каких-либо специальных требований к составу шихты: при том отношении $\text{CaO}:\text{SiO}_2$, какое возможно в доменных шлаках (не выше 1,65), фосфор целиком восстанавливается. Затруднение для составления шихты на томасовский чугун создается требованием, чтобы он содержал возможно меньше кремния (0,3—0,5%) с серой и неблагоприятствующей этому пустой породой бедных фосфористых руд, дающих много глиноземистого шлака, что облегчает восстановление Si при горячих шлаках и переход серы в чугун при холодных (холодных на счет содержания MnO и FeO).

Это очень затрудняет выплавку малосернистого и вместе с тем мало-кремнистого чугуна из бедных глиноземистых руд. Выход из положения найден был недавно на единственном заводе Англии (Corby), выплавляющем томасовский чугун из таких руд, в обессеривании чугуна вне доменной печи и ведение плавки на самых легкоплавких глиноземистых шлаках, способствующих получению мелкокремнистого чугуна. Такая работа оказалась очень выгодной для доменных печей названного завода, так как она вызвала значительное снижение расхода известняка и веса шлака, что, в свою очередь, снизило расход кокса, а правильный (без осадок и зависаний) ход печи способствовал значительному увеличению производительности¹⁾.

1) „Новости иностранной металлургии“, 1937 г. № 5; стр. 46.

7. Общие соображения о желательных физических свойствах и химическом составе доменных шлаков и данные мировой практики доменного производства позволили нам составить таблицу 14, содержащую рекомендуемые нами анализы шлаков для выплавки разных сортов чугуна на минеральном горючем.

В таблице указан пересчитанный на 3 компонента состав шлаков, послуживший для установления количества тепла, потребного для расплавления шлаков, температур плавления и вязкости шлаков. Указаны и численные значения соотношений некоторых составных частей шлаков, — соотношений, определяющих свойства шлаков и применяемых при расчете шихты.

Пригодность шлака для выплавки литейного и перепельного чугуна

Наиболее легкоплавкие шлаки, пригодные для

	I	II	III	IV	V
SiO ₂	33,0	39,9	39,6	38,9	48,1
Al ₂ O ₃	36,8	23,0	21,6	18,5	12,2
CaO + MgO	30,2	37,1	38,8	42,6	39,7
Вязкость при 1500°	20	12	12	7,5	8
Теплота плавления	385	361	355	347	357
Температура плавления	1385	1350	1350	1350	1400
Степень кислотности	0,67	1,0	1,0	1,0	1,5
SiO ₂ : Al ₂ O ₃	0,90	1,74	1,83	2,1	4,0
SiO ₂ + Al ₂ O ₃	69,8	62,9	61,2	57,4	60,3
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃) : RO	2,31	1,70	1,58	1,35	1,52
RO : SiO ₂	0,91	0,93	0,98	1,09	0,82

указывается отношением SiO₂ : Al₂O₃ — для литейного чугуна от 2 до 1,25 и для перепельного 3 и выше.

Наивысшая текучесть шлаков достигается, как мы видели, при отношении (SiO₂ + Al₂O₃) : (CaO + MgO) = 1 при коксовой плавке (колебания в ту и другую сторону допускаются, но очень незначительные).

Наконец, отношение CaO : SiO₂ регулирует степень трудноплавкости шлаков, с одной стороны, и достигаемую степень обессеривания — с другой, изменяясь обыкновенно в пределах: 1,5—1,2; минимум соответствует работе на легкоплавких шлаках и невысокому содержанию серы в шихте.

В анализах таблицы 14 магния отдельно не показана — она входит в сумму RO = (CaO + MgO). Присутствие небольшого количества магния (до 5%) в шлаках всегда полезно, ввиду ее специфического действия (понижение вязкости шлака и его точки плавления), в особенности в тех шлаках, в которых очень мало закиси марганца и которые вязки от избытка извести или глинозема.

В таблице 14 дана также характеристика шлаков в отношении вязкости, теплоты плавления по Окерману и температуры плавления по Ренкину, — вытекающая из пересчитанного на 3 компонента их состава.

Таблица эта составлялась впервые (в 1902 г.) на основании чисто-

практических данных об условиях работы печей и анализов шлаков, собранных в большом количестве автором лично (в Швеции, на Урале, в Кливленде, в Пенсильвании и на южных заводах России). В то время единственной научно установленной характеристикой физических свойств шлаков была теплота плавления по Окерману; значения ее были введены в таблицу и оказались в хорошем согласии с рекомендуемым химическим составом шлаков. Много позже появилась работа Ренкина — Райта и данные ее для наших нормальных шлаков были введены в таблицу. Наконец, совсем недавно стало возможно дать научную характеристику вязкости доменных шлаков по Мак-Кефери и она вошла в „Расчет доменных шихт“ 3-го и настоящего, 4-го, издания.

Совокупность новых данных не привела нас к необходимости менять

Таблица 15

выплавки передельного чугуна на древесном угле

VI	VII	VIII	IX	X
47,7	55,3	54,8	59,1	62,7
10,6	10,5	9,0	4,5	2,2
41,7	34,2	36,2	36,4	35,1
7	30	20	30	30
358	356	351	347	346
1400	1375	1400	1400	1400
1,5	2,0	2,0	2,5	3,0
4,5	5,27	6,1	13,1	28,5
58,3	65,8	63,8	63,6	64,9
1,40	1,92	1,76	1,75	1,84
0,87	0,62	0,66	0,62	0,56

химический состав наших нормальных шлаков для плавки на минеральном горючем.

Что касается шлаков древесноугольных доменных печей, то мы не указываем их нормального состава, так как он может колебаться в очень широких пределах, давая легкоплавкий шлак, пригодный для выплавки высококачественного передельного чугуна — единственного продукта производства древесноугольных печей.

Руководясь отношением $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ — отношением, с определения которого должны начинаться всякие расчеты по составлению шихт, легко найти с помощью диаграммы фиг. 3, на которой нанесены эти отношения, состав легкоплавких шлаков, для всякого данного отношения $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$. В дополнение к диаграммам, мы даем здесь краткое извлечение из таблиц численных данных Окермана — 10 анализов легкоплавких синтетических шлаков; анализы расположены в порядке возрастания степени кислотности и численного значения отношения $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ (таблица 15).

Числа, выражающие вязкость при 1500° шлаков: VII, VIII, IX и X, могут возбудить вопрос: можно ли работать на таких не текучих шлаках при сравнительно низкой температуре горна древесноугольных доменных печей? Практика разрешила этот вопрос за много лет до того,

Шлаки древесноугольных заграничных доменных печей

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	60,5	54,0	58,7	50,2	47,1	38,5	44,4	55,2	46,3
Al ₂ O ₃	2,7	2,6	7,0	4,1	2,4	7,0	8,9	10,2	17,0
FeO	2,0	0,7	0,7	2,8	2,0	3,6	1,0	0,4	0,4
MnO	2,5	2,1	1,9	3,3	2,7	1,8	8,6	10,4	2,5
CaO	28,5	35,8	30,5	22,2	27,7	33,5	24,4	15,2	24,4
MgO	3,0	4,1	6,1	16,6	17,5	14,0	11,4	7,2	9,4
Щелочи (и сера) .	0,8	0,7	0,1	0,8	0,6	1,6	1,8	1,4	—
Теплота плавления.	360	421	342	405	400	400	342	354	375
Степень кислотности	3,0	2,18	1,9	1,79	1,55	1,10	1,5	2,44	1,34
SiO ₂ : Al ₂ O ₃ . . .	22,4	20,8	7,67	12,3	19,7	5,53	5,0	5,41	2,72
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃) : RO.	2,0	1,42	1,65	1,40	1,1	0,96	1,49	2,90	1,87
RO : SiO ₂	0,52	0,74	0,68	0,77	0,96	1,23	0,81	0,41	0,73

1. Шлак доменной печи завода Финспонг (Швеция) от литейного „пушечного“ чугуна, содержавшего лишь около 0,7% кремния.

2. Шлак завода Форсбакка (Швеция) от передельного чугуна, чрезмерно трудноплавкий от недостатка глинозема и избытка извести; теплота плавления определена Окерманом.

3. Шлак передельного чугуна завода Викманс, — наиболее легкоплавкий из всех исследованных (в 1879 г.) Окерманом шведских доменных шлаков.

4. Шлак передельного чугуна завода Сёдерфорс; теплота плавления определена Окерманом (1879 г.).

5. Шлак того же завода — современный, более основной; чугун экспортный с 0,02% P и не более 0,01% S.

6. Шлак завода Фагерста (Швеция), — современный, наиболее основной из древесноугольных шлаков.

7. Исключительно легкоплавкий (по определению Окермана) шлак штирийских доменных печей, работавших у Форденберга на рудах Эрцберга; флюсом служил глинистый сланец.

8. Шлак завода Гефг (Каринтия), нормального для древесноугольной плавки химического состава и плавкости (по определению Окермана).

9. Шлак американской печи, выплавлявшей литейный малокремнистый чугун из руд Верхнего озера.

как явилась возможность измерять текучесть шлаков. Шлаки: VII и VIII — обычные шлаки древесноугольных печей, работающих на бурых железняках Урала, а шлаки: IX и X — типичные шлаки Швеции (прежнего времени).

8. В каждом — металлургическом районе химический состав местных сырых материалов предопределяет характер шлаков, которые могут получаться выплавкой чугуна только из местных сырых материалов. Химический состав этих шлаков — независимо от степени их трудноплавкости — может более или менее уклоняться от желаемого или нормального состава, способствуя наимыгоднейшей выплавке одного какого-нибудь сорта чугуна. Мы рассмотрим далее все характерные для разных условий работы случаи уклонения от сделанных нами указаний о составе нормальных шлаков, а также и случаи полного совпадения с ними, на анализах шлаков из разных металлургических районов, полученных при выплавке всех сортов чугуна как на древесном угле, так и на минеральном горючем (см. таблицы 16—28).

В Швеции на древесном угле выплавляется перделый чугун из руд, заключающих в своем составе незначительное, иногда даже ничтожное, количество глинозема и более или менее значительное — магнезии, поэтому шлаки шведских домен характеризуются высоким отношением SiO_2 : Al_2O_3 , низким содержанием Al_2O_3 и, вследствие этого, большей трудноплавкостью, чем требуется сортом выплавляемого чугуна (кричный, мартеновский).

В таблице 16 дано 6 анализов шлаков, типичных для шведских условий работы. Один из них (3) показывает, как незначительно должно быть увеличение содержания глинозема в шихте для того, чтобы значительно понизить теплоту плавления шлака. Нужно отметить, что и по диаграмме Ренкина шведские шлаки трудноплавче некоторых шлаков коксовых доменных печей, имея температуру плавления 1425 до 1500°. По этой диаграмме, чтобы получить более низкую температуру плавления, при 60% SiO_2 нужно ввести в шлак 10% Al_2O_3 , но в таком случае вязкость шлака будет более 50 пуазов при 1500°, при более же низком содержании глинозема она снижается до 15—20, что вполне допустимо в древесноугольной плавке.

Обращает на себя внимание состав 6 шлака, — это шлак коксовой печи по своей основности; он получается при работе на очень богатом агломерате, дающем слишком мало шлака при снижении веса флюса в колошу; значительное количество магнезии, надо думать, понижает очень высокую температуру плавления этого шлака (1500°). В таблице 16, только 2 последние шлака по сумме кремнезема и глинозема, а также — и по содержанию последнего, соответствуют нормальному составу; первый (8) — наиболее легкоплавкий перделый (содержание 10,4% MnO и 7,2% MgO не могло быть учтено в цифрах плавкости); второй (9) — шлак древесноугольной плавки на специальный литейный чугун (литье с закаленной поверхностью), выплавлявшийся из руд Верхнего озера в большом количестве пока конкуренция более дешевого коксового чугуна не прекратила этого производства.

Заметим, что в этой таблице, как и во всех остальных, при определении кислотности шлаков не принимается во внимание кислород MnO и FeO ; точно так же эти окислы не считались в сумме RO при определении отношений $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$: RO и RO : SiO_2 .

Шлаки древесноугольных доменных печей СССР

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	51,3	42,3	40,6	36,5	34,3	48,6	50,6	52,7	51,2
Al ₂ O ₃	17,3	21,8	28,8	27,2	29,8	16,3	10,3	10,1	11,0
FeO	0,6	0,6	2,5	1,2	2,4	2,2	1,2	2,9	0,8
MnO	1,3	2,0	3,6	8,9	1,6	2,5	0,4	0,9	2,2
CaO	26,3	25,9	15,3	19,7	30,9	19,9	34,6	29,8	31,9
MgO	2,3	5,4	8,6	5,9	1,0	8,9	2,3	2,3	2,1
Щелочи (и сера)	0,9	2,0	0,6	0,6	—	1,6	0,6	1,3	0,8
Теплота плавления	368	390	425	410	380	380	360	355	350
Степень кислотности	1,62	1,13	1,0	0,93	0,8	1,6	1,71	2,0	1,80
SiO ₂ :Al ₂ O ₃	2,97	1,95	1,4	1,34	1,15	3,0	4,91	5,2	4,65
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃):RO	2,4	2,05	2,9	2,5	2,0	2,26	1,65	1,95	1,83
RO:SiO ₂	0,56	0,72	0,58	0,7	0,93	0,60	0,73	0,61	0,66

10. Шлак Верхне-Туринского завода от передельного серого чугуна, выплавленного из руды горы Благодати; теплота плавления определена Окерманом.

11. Шлак Кузвинского завода от выплавки того же чугуна и из той же руды, более глиноземистый, основной и трудноплавкий.

12. Шлак Нижне-Тагильского завода от передельного серого чугуна, выплавленного из руды горы Высокой, без добавления флюса, — слишком трудноплавкий от избытка глинозема.

13. Шлак Нижне-Салдинского завода от выплавки бессемеровского чугуна, содержащего 1,5% Si и 3% Mn; руда горы Высокой с добавкой марганцевой Сапальской.

14. Шлак Надеждинского завода от мартеновского чугуна (0,4% Si); руда — местная (магнитный, красный и бурый железняки).

15. Шлак доменных печей среднего Урала, полученный при выплавке передельного серого чугуна из смеси магнитных и местных бурых железняков.

16. Шлак Белорецкого завода от выплавки передельного чугуна с 0,7% Si из смеси руд горы Магнитной и местных бурых железняков, исключительно малоглиноземистых.

17 и 18. Шлаки от выплавки передельного серого чугуна из бурых железняков среднего Урала, нормального химического состава (как и № 16) и плавкости.

Шлаки древесноугольных доменных печей СССР

	19	20	21	22	23	24	25	26	27
SiO ₂	57,1	47,1	54,6	48,1	48,0	46,0	39,0	54,1	57,8
Al ₂ O ₃	11,3	11,5	10,1	10,5	13,3	12,9	22,0	не указ.	13,2
FeO	0,9	2,5	0,5	1,6	2,4	1,2	0,6	2,4	—
MnO	4,7	7,5	8,5	5,5	4,9	1,1	1,4	0,9	3,1
CaO	15,2	15,9	19,4	27,5	24,8	3,7	33,0	16,4	23,6
MgO	10,0	15,5	5,4	5,6	5,1	34,0	2,4	14,0	2,3
Щелочи (и сера) .	0,8	—	1,5	1,2	1,5	1,1	1,6	—	—
Теплота плавления.	380	350	375	360	370	?	360	—	—
Степень кислотности	2,05	1,37	2,33	1,7	1,46	1,18	1,0	—	2,04
SiO ₂ : Al ₂ O ₃ . . .	5,05	4,1	5,41	4,58	3,60	3,56	1,77	—	—
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃): RO	2,71	1,86	2,61	1,77	2,05	1,56	1,72	—	—
RO: SiO ₂	0,44	0,67	0,45	0,69	0,62	0,82	0,91	0,81	0,65

19. Шлак Саткинского завода, полученный в 1879 г. при выплавке передельного чугуна из бакальской руды; теплота плавления определена Окерманом.

20. Современный шлак того же завода; работа на магниальной разновидности бакальской руды; чугун с 0,5% Si, 1% Mn, 0,04% P и 0,01% S.

21, 22 и 23. Шлаки южноуральских заводов (Златоустовского и Ашинского), полученные в последнее время при выплавке передельного чугуна из бакальской руды.

24. Шлак Петровского завода (Сибпр) с очень высоким содержанием магнезии; теплота и температура плавления — ввиду исключительности состава — не могут быть указаны; текучесть — по опытным данным — удовлетворительная.

25. Шлак Уфалейского завода от опытной плавки елизаветинских никель-содержащих руд; выплавленный чугун содержал: 0,9% Ni и 0,3% Cr.

26. Шлак Кузнецкого завода от плавки местных титано-магнетитов. С кремнеземом показано 16,7% TiO₂; Al₂O₃ не определялся (его около 12%); чугун содержал: 0,56—0,72% ванадия; 0,66—0,75% хрома; 0,03% фосфора; серы — следы.

27. Шлак Чусовского завода от плавки агломерата из обогащенной кузнецкой руды с добавкой сырой первомайской руды; чугун содержал 0,6—0,74% ванадия; 0,5—0,6% хрома; 0,03% фосфора и 0,01% серы; содержание TiO₂ в шлаке — в 2 раза выше, чем при коксовой плавке (от уменьшения веса шлака).

Древесноугольные шлаки многих уральских печей, проплавляющих магнитные железняки гор Благодати и Высокой, отличаются чрезмерно низким отношением $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$; они (11 и 12 таблицы 17) бывали часто более трудноплавки, чем бы их следовало и можно было бы иметь, применяя, как флюс, кремнистые бедные руды, сварочный и даже бессемеровский шлаки. Еще более низким отношением $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ (доходящим иногда до 1) отличаются шлаки, получающиеся на Надеждинском заводе, как продукт плавки местных магнитных, красных и бурых железняков; эти шлаки не обладают достаточной подвижностью, что временами затрудняет правильный ход доменных печей (шлак 14 таблицы 17).

Бурые железняки среднего Урала, часто довольно бедные, дают возможность иметь нормальные шлаки древесноугольной плавки, — они в достаточной степени густы, легкоплавки (см. анализы 16—18 таблицы 17), и химический состав их соответствует ходу на передельный серый чугун, который из этих руд выплавляется. Прибавление к магнитным железнякам бурых способствует улучшению шихты — шлаки делаются более легкоплавкими, как показывает анализ 15 таблицы 17.

Богатые бурые и шпатовые железняки знаменитых Бакальских месторождений обладают изменчивым составом пустой породы в смысле отношения в ней $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$, но смешением руд из разных выработок можно достигнуть получения из этих руд нормальных шлаков мартеновского чугуна, как показывают анализы таблицы 18. Нужно заметить, что шлаки эти легкоплавче, чем указывает таблица, так как часть, но не очень значительная, извести в них замещена магнезией и невосстановленная часть марганца дает MnO в шлак (см. анализы 20—23 таблицы 18).

Анализ 24 той же таблицы 18 дает состав шлаков древесноугольной плавки Петровского завода (Сибирь), проплавляющего руды Балягинского месторождения, совершенно исключительного состава: это — магнитные железняки, самоплавкие, с магнезиальной пустой породой; они дают единственный в своем роде шлак (с 28—34% MgO), о физических свойствах которого нельзя ничего сказать на основании произведенных исследований. Завод работает около 150 лет, не испытывая никаких затруднений со стороны шлаков, — повидимому, они в достаточной степени легкоплавки (расход горючего невелик) и, во всяком случае, не слишком вязки. В таблице указан расчетный состав шлака, получаемый из руды, проплавляемой без флюса. Фактический состав достигается прибавлением в шихту известняка и глины (для понижения содержания магнезии и для большей легкоплавкости — введением глинозема).

Выплавка чугуна из руд Верхнего озера на коннельсвилльском коксе и смеси кокса с антрацитом дает шлаки, которые могут быть названы нормальными для передельных чугунов — мартеновского и малокремнистого бессемеровского (1,25—1,50% Si); отношение $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ в них не выходит из пределов $2\frac{1}{2}$ —3, а содержание CaO часто приближается к указанному раньше минимуму ввиду низкого содержания серы в коксе (таблица 21 шлаки 52—53). Шлаки антрацитовой плавки отличались высоким содержанием магнезии, так как дешевым местным (в восточной Пенсильвании) флюсом был доломит.

Состав пустой породы руд Верхнего озера не подходит для производства литейного чугуна, и шихта на последний составляется с примесью глинистых бурых железняков округа Мейвил (таблица 19 анализ 33), которыми вводится и недостающее количество фосфора в чугуне. На американских заводах плавится и руда острова Кубы — маяри, в состав пустой породы которой входит боксит, что позволяет незначительной примесью этой руды увеличивать до нормы содержание Al_2O_3 в литейном шлаке (см. таблицу 19, анализ 34).

Руда маяри, входя в количестве 80% в состав шихты, вызывает получение единственного в своем роде шлака, — шлака, в котором Al_2O_3 значительно преобладает над SiO_2 . Такой шлак, как показал опыт, пригоден для работы на бессемеровский чугун при условии употребления доломита в качестве флюса: при содержании 8% MgO шлак оказался достаточно жидким, несмотря на содержание до 33% Al_2O_3 (см. таблицу 21, анализ 54).

Таблица 19

Шлаки коксовых заграничных доменных печей. Литейный чугун

	28	29	30	31	32	33	34	35	36
SiO_2	30,1	29,8	28,3	30,0	32,4	32,1	32,7	35,0	37,2
Al_2O_3	15,1	19,9	24,8	18,2	15,7	16,05	14,6	12,5	15,0
FeO	0,5	—	0,3	1,2	0,9	—	—	1,0	0,6
MnO	0,6	—	0,4	0,3	—	0,6	—	—	0,4
CaO	35,5	40,3	32,4	42,3	41,5	28,5	38,2	46,4	38,8
MgO	12,3	3,0	8,9	3,8	3,0	19,7	10,3	0,6	2,7
CaS	5,7	6,9	3,7	3,4	5,4	3,1	3,6	3,4	4,3
Теплота плавления	458	390	410	415	390	400	400	360	350
Степень кислотности	0,72	0,72	0,61	0,72	0,84	0,76	0,8	0,97	0,94
$SiO_2 : Al_2O_3$	2,00	1,5	1,14	1,65	2,06	2,0	2,24	2,8	2,48
$(SiO_2 + Al_2O_3) : RO$	0,95	1,14	1,29	1,04	1,08	1,00	0,98	1,01	1,25
$RO : SiO_2$	1,59	1,45	1,46	1,54	1,37	1,50	1,48	1,34	1,12

28. Шлак литейного чугуна; руда — шотландские глинистые и углистые железняки (теплота плавления указана по определению Окермана).

29. Шлак литейного чугуна; руда — бурые железняки и сидериты внутренней Англии; сернистый кокс.

30. Шлак литейного чугуна, выплавленного из кливлендского глинистого железняка на деремском коксе.

31. Шлак литейного чугуна, выплавленного из лотарингской минет на вестфальском коксе (завод Омен-Фриде).

32. Шлак литейного чугуна, выплавленного на заводе рейнск-вестфальского округа из разнообразных импортных руд на вестфальском коксе.

33. Шлак литейного чугуна, выплавленного в США из смеси красного железняка Верхнего озера и бурого округа Мейвил на коннелсвилльском коксе флюс — доломит.

34. Шлак литейного чугуна, выплавленного из смеси руд Верхнего озера и маяри (остр. Куба) на коннелсвилльском коксе.

35. Шлак литейного чугуна, выплавленного из бедных алабамских красных железняков с примесью бурых на местном коксе.

36. Шлак литейного чугуна, выплавленного на канадском заводе (Algoma) из руд Верхнего озера на пенсильванском коксе.

По составу своей пустой породы наши криворожские красные железняки подобны американским рудам Верхнего озера и, значит, пригодны для выплавки малокремнистых передельных чугунов, тем более, что они богаче американских и потому дают несколько меньше шлака.

Однако, состав доменных шлаков южных печей Союза значительно расходится с составом американских от тех же сортов чугуна: южные шлаки отличаются более низким содержанием глинозема, спускающимся при работе на малофосфористой (бессемеровской) криворожской руде до 7%, меньшим значением суммы ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$), высшим отношением $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ и наибольшим содержанием CaO и CaS . Такой состав делает южные шлаки даже от передельного чугуна более трудноплавкими и вязкими, чем бы следовало; он объясняется тем, что кокс из донецких углей содержит в 2 (примерно) раза больше серы, чем коннелсвилльский.

В 1934 г., по инициативе проф. В. Е. Васильева, на Орджоникидзенском заводе был применен при выплавке бессемеровского чугуна, — шлаки которого отличаются низким содержанием не только глинозема, но и закиси марганца, — в качестве флюса магнезиальный известняк Еленовских каменоломен. Содержание магнезии в шлаке было доведено до 6,35%, и ход печи заметно изменился к лучшему: шлак стал более эжидок и горяч, чугун стал менее сернистым, расход кокса уменьшился, установился более ровный ход и производительность печи возросла¹⁾.

При выплавке литейных чугунов в шихту назначают более бедную криворожскую руду (для увеличения веса шлака) и, по возможности, более глиноземистую разновидность ее, но шихта все же получается малоглиноземистой (см. анализ 37 таблицы 20, — средний по Васильеву шлак литейного чугуна); чугун из нее — недостаточно фосфористый по сравнению с нормальным литейным чугуном.

Общеизвестные сорта литейного чугуна — шотландский и кливлендский — получают из довольно бедных глинистых сидеритов и углестых железняков, дающих шлаки, отличающиеся низким отношением $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ (доходящим до 1,0) и трудноплавкостью; эти шлаки являются наиболее подходящими для производства высококремнистого чугуна. Благодаря присутствию магнезии в пустой породе кливлендской руды, шлак обладает достаточной подвижностью, несмотря на высокое содержание Al_2O_3 (см. таблицу 19, анализ 30). Сумма ($\text{CaO} + \text{MgO}$) в кливлендских шлаках невелика, поэтому при перемене хода печи на более холодный — невольной или умышленной — получается сернистый передельный серый чугун; выплавка малокремнистого передельного чугуна (кремния менее 1%) при таких шлаках весьма затруднительна: при холодном ходе получается железистый шлак и чугун с чрезмерно высоким содержанием серы.

Подобное же явление, только менее резко выраженное, наблюдается при выплавке томасовского чугуна из руды минет, пустая порода которой глиноземиста, хотя и в меньшей мере, чем кливлендский железняк. Самоплавкая смесь минет из разных пластов дает глиноземистые шлаки, пригодные для получения литейного чугуна, но

¹⁾ В. Е. Васильев (и сотрудники), Основы ведения доменной плавки в связи с применением устойчивых шлаков, стр. 136—140.

Шлаки коксовых доменных печей СССР. Литейный чугун

	37	38	39	40	41	42	43	44	45
SiO ₂	31,9	29,6	31,0	37,3	33,4	38,2	33,2	22,0	32,9
Al ₂ O ₃	11,8	14,7	13,5	9,1	10,4	14,7	21,1	29,5	18,7
FeO	1,0	0,6	0,5	0,3	1,0	0,6	0,7	0,8	0,4
MnO	0,3	0,4	0,5	0,3	1,0	0,7	0,5	0,2	0,3
CaO	45,5	42,9	46,0	45,8	43,7	39,5	38,5	40,2	29,9
MgO	0,9	1,2	2,5	0,7	—	4,1	2,2	1,7	13,9
CaS	8,2	9,4	5,99	4,8	9,8	2,2	2,5	6,4	4,3
Теплота плавления	390	400	400	390	390	350	360	450	380
Степень кислотности	0,89	0,80	0,80	1,12	1,0	1,0	0,81	0,45	0,76
SiO ₂ :Al ₂ O ₃	2,70	2,01	2,29	4,1	3,21	2,6	1,57	0,75	1,79
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃):RO	0,94	1,00	0,92	1,00	1,00	1,21	1,33	1,23	1,18
RO:SiO ₂	1,45	1,49	1,56	1,25	1,31	1,14	1,23	1,90	1,33

37. Средний (по Васильеву) состав шлака (от 285 выпусков из 8 печей) литейного чугуна, выплавленного из криворожской руды на южных заводах СССР (Si от 3 до 3,5%; температура при выпуске 1510—1515° (сопутствующего чугуна — 1400—1405°).

38. Шлак Алмазьянского завода от опытной плавки глиноземистых криворожских руд (средняя температура шлака 1504°, чугуна — 1380°, содержание Si в чугуне 4,6%).

39. Шлак Криворожского завода; руда — исключительно криворожская; в чугуне 3,0% Si.

40. Шлак Липецкого завода; руда — Сырского и Петровского рудников; чугун 3—4% Si.

41. Шлак Косогорского завода, руда местная (Киреевского рудника) с прибавкой около 15% криворожской; чугун содержал 3% Si.

42. Шлак Кузнецкого завода; руда исключительно магнитогорская (малоглиноземистая).

43. Шлак Магнитогорского завода (1935 г.); чугун содержал 3,5—4% Si.

44. Шлак литейного чугуна, выплавленного на Липецком заводе из Халиловской латеритовой руды; флюс — известняк исключительно.

45. То же, но флюсом, кроме известняка, служил железистый змеевик. В чугуне 3,75% Si; 1,25% Ni и 2,75% Cr.

Таблица 21

Шлаки заграничных коксовых доменных печей. Гематит и бессемеровский чугун

	46	47	48	49	50	51	52	53	54
SiO ₂	36,2	33,0	32,0	33,4	35,7	33,3	33,2	33,3	22,6
Al ₂ O ₃	10,1	10,0	9,8	8,5	9,9	12,5	12,2	10,8	29,3
FeO	0,4	1,0	1,0	1,1	0,9	1,5	1,5	0,4	—
MnO	0,7	0,2	0,5	0,5	2,5	0,4	2,2	0,5	—
CaO	43,0	47,0	42,6	46,8	43,2	42,8	39,0	31,7	34,2
MgO	4,8	1,0	5,0 ¹⁾	3,1	4,1	2,5	9,5	16,6	7,9
CaS	4,0	3,8	7,3	4,7	3,2	5,3	3,0	5,9	4,1
Теплота плавления	395	400	400	390	380	360	380	410	440 (?)
Степень кислотности	1,0	0,71	0,89	0,95	1,04	0,93	0,85	0,85	0,45
SiO ₂ :Al ₂ O ₃	3,6	3,3	3,37	3,93	3,61	2,67	2,72	3,10	0,77
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃):RO	0,97	0,90	0,88	0,84	0,96	1,01	0,93	0,91	1,23
RO:SiO ₂	1,32	1,45	1,49	1,49	1,30	1,36	1,46	1,45	1,87

46. Шлак гематита, выплавленного из испанских бурых железняков в Англии. Теплота плавления — по определению Окермана.

47. Шлак гематита, выплавленного в Англии из испанского бурого и кумберлендского красного железняков; содержание в чугуне Si — 2,0% и P — 0,02%.

48. Шлак гематита, выплавленного в Англии из испанских и африканских руд; содержание в чугуне Si — 2,0% и P — 0,04%.

49. То же, к испанскому бурому железняку прибавлено равное количество шведского магнитного железняка, дутье обогащенное (до 26% по объему) кислородом; рейнский завод; в чугуне 2,1% Si и 0,86% Mn.

50. То же, очень сложная шихта из разнообразных руд; завод Круппа.

51. Шлак гематита, выплавленного из очень сложной шихты (германский завод); чугун содержал 2,4% Si и 0,077% P.

52. Шлак бессемеровского чугуна, содержавшего 1,3% Si и выплавленного из руд Верхнего озера (США) на пенсильванском коксе.

53. То же, горючее — смесь кокса с пенсильванским антрацитом; флюс — доломит.

54. Шлак бессемеровского чугуна (1,3% Si) завода Стигтон; руда — майри, пенсильванский кокс.

¹⁾ В том числе 3,9 окиси бария.

Шлаки заграничных коксовых доменных печей. Томасовский чугу́н

	55	56	57	58	59	60	61	62	63
SiO ₂	32,5	30,5	30,9	32,8	32,5	33,8	32,8	37,8	29,7
Al ₂ O ₃	25,4	19,5	17,4	12,4	12,0	12,2	11,5	8,2	12,2
FeO	—	2,0	1,5	1,9	1,3	0,9	1,5	0,2	1,6
MnO	1,7	0,8	3,9	3,9	2,9	3,3	3,0	1,2	2,0
CaO	31,3	42,3	39,1	39,5	40,7	39,5	40,7	36,3	44,4
MgO	5,1	2,0	4,1	4,2	5,6	5,1	4,9	12,2	5,4
CaS	4,0	2,3	1,4	4,5	4,1	4,3	4,1	3,1	не указ.
Теплота плавления	370	400	360	380	400	390	390	380	440
Степень кислотности	0,75	0,73	0,78	0,92	0,89	0,94	0,86	1,05	0,76
SiO ₂ :Al ₂ O ₃	1,28	1,56	1,78	2,65	2,71	2,93	2,85	4,6	2,44
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃):RO	1,59	1,13	1,12	1,03	0,96	1,03	0,97	0,95	0,84
RO:SiO ₂	1,12	1,45	1,40	1,33	1,42	1,32	1,39	1,28	1,68

55. Шлак завода Corby — единственного (пока) завода Англии, выплавляющего томасовский чугу́н. Небольшое содержание извести дает сернистый чугу́н, обесцениваемый вне доменной печи (0,13% S при 0,6% Si и 1,4% Mn).

56. Шлак от плавки лотарингской минет на заводе Омец-Фриде (Германия).

57. Шлак от плавки смеси минет с агломератом из мелочи минет на заводе Рехлинга (Саар); содержание Si в чугу́не всего 0,11—0,17%.

58. Шлак от плавки минет со шведским магнитным железняком; рейнский завод.

59. Шлак от сложной шихты (минет, шведский магнитный железняк, красный железняк Нью-Фаунленда, агломерат из колошниковой пыли и мелочи разных руд) одного рейнского завода; в чугу́не 0,34% Si, 1,79% Mn и 1,93% P.

60. Шлак от еще более сложной шихты (кроме перечисленных выше руд, в шихту входят испанские и африканские руды) завода Тиссена; чугу́н содержит: 0,18% Si; 1,37% Mn и 1,81% P.

61. Шлак Гутеффунгсгюте от такой же сложной шихты; чугу́н содержит: 0,25% Si; 1,35% Mn и 1,80% P.

62. Шлак силезского завода; шихта из смеси штирийских и венгерских шпатовых железняков со шведскими магнитными железняками.

63. Шлак Гутеффунгсгюте от опытной плавки на обогащенном (до 26,3% по объему) кислородом дутье; шихта: $\frac{1}{2}$ томасовского агломерата и $\frac{1}{2}$ шведского магнитного железняка; чугу́н содержал: 0,7% Si; 1,3% Mn и 2,1% P.

не соответствующие качеству выплавляемого передельного и сделавшиеся легкоплавкими насчет растворившихся в них окислов марганца и железа (см. таблицу 22, анализы 56 и 57). Только прибавка шведских руд, обожженных пиритов, сварочного шлака к минет позволяет улучшить шихту, как показывают анализы 58—62.

Наша фосфористая Керченская руда тоже имеет глиноземистую пустую породу, но, содержа большие количества фосфора и марганца, допускает прибавление значительных количеств руды криворожской, малоглиноземистой, но богатой, что дает возможность получать более приближающиеся к нормальным шлаки при выплавке томасовского чугуна, чем шлаки от минет и одной керченской руды (таблица 23, анализы 69—72).

Шпатовые железняки штирийского Эрцберга, из которых в былое время выплавлялся на древесном угле знаменитый штирийский передельный чугун, обладают известково-магнезиальной пустой породой, которая требовала для древесноугольных шихт кремнисто-глиноземистого флюса и давала очень легкоплавкий шлак (таблица 17, анализ 7); в последнее время действия штирийских печей эти руды проплавлялись на коксе, требуя незначительной добавки известняка и давая с малым расходом горючего превосходный мартеновский чугун, — марганцевый, малокремнистый, чистый в отношении серы и фосфора. Шлаки, сопровождающие этот чугун, нормальны и по химическому составу, и по физическим свойствам. В таблице 24 приведен анализ (73) такого шлака.

В некоторых странах Европы, и в особенности в Англии, выплавляется большое количество малофосфористого литейного чугуна („гематита“) из испанских бурых железняков, известных своей удобовосстановимостью и чистотой в отношении фосфора и серы. Состав получаемых при этих чугунах шлаков, естественно, колеблется в зависимости от содержания кремния в чугуне, состава золы кокса и количества серы в нем, но в общем он подобен составу американских шлаков бессемеровского чугуна, т. е. может считаться нормальным для производства чугуна с невысоким содержанием кремния (см. анализы 46—48 таблицы 21).

Довольно значительное число заводов — и с течением времени все большее, — географически выгодно расположенных, проплавляет руды многих месторождений; умелым подбором руд по качеству их пустой породы такие заводы могут всегда составлять подходящие шихты для всякого сорта чугуна. В наших таблицах мы даем ряд анализов шлаков разных металлургических районов, полученных от смешения руд разнообразного качества и происхождения. Между другими указан анализ 62 (таблица 22) нормального томасовского шлака одного из силезских заводов, отличающийся резко от приведенных раньше (56 и 57); низкое содержание глинозема в этом шлаке объясняется не только подходящим составом руд (примесь шведских магнитных железняков), но и составом золы силезского кокса, отличающимся высоким отношением $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$.

Переходя к шлакам специальных чугунов, начнем с зеркального, производство которого получило начало в Зигенском крае (Siegerland), где оно интенсивно ведется и в настоящее время, составляя специальность

Шлаки коксовых доменных печей СССР. Бессемеровские и томасовские чугуны

	64	65	66	67	68	69	70	71	72
SiO ₂	35,0	35,0	35,6	33,0	35,2	30,8	34,1	35,8	33,1
Al ₂ O ₃	10,1	8,5	8,8	8,6	9,5	18,7	13,4	13,2	12,8
FeO	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	—	0,9	1,2	1,0
MnO	0,9	0,7	0,8	0,6	0,9	4,6	2,4	4,2	1,9
CaO	45,9	48,0	47,2	43,9	46,0	38,8	39,1	38,4	38,8
MgO	1,2	1,4	1,0	6,4	1,1	2,6	4,5	1,9	6,8
CaS	6,1	5,6	6,1	6,8	6,1	3,8	5,2	5,2	5,4
Теплота плавления	370	390	380	400	380	380	360	350	360
Степень кислотности	1,01	1,01	0,90	0,91	1,04	0,78	0,93	1,06	0,90
SiO ₂ :Al ₂ O ₃	3,47	4,12	4,05	3,84	3,71	1,64	2,53	2,71	2,59
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃):RO	0,96	0,88	0,92	0,83	0,95	1,19	1,08	1,22	1,03
CaO:SiO ₂	1,35	1,41	1,35	1,52	1,34	1,34	1,28	1,13	1,35

64. Шлак бессемеровского чугуна южных заводов среднего (по Васильеву) состава (от 9 печей и 291 выпуск); руда — криворожская малофосфористая исключительно; чугун среднего состава: 1,53% Si и 0,95% Mn.

65. То же — завода им. Петровского; чугун содержал: 1,5—2,0% Si, 0,8—1,1% Mn и 0,056—0,060% P.

66. То же — Орджоникидзевского завода; кокс — местный, руда малофосфористая криворожская, флюс — известняк; температура шлака при выпуске 1457°.

67. То же, того же завода, но флюс — магнезиальный (13% MgO) известняк; шлак — более основной и горячий (температура его при выпуске 1503°), чем предшествовавший, но более жидкий.

68. Шлак бессемеровского чугуна завода им. Дзержинского, малофосфористая криворожская руда, флюс — известняк; чугун содержал: 1,99% Si, 0,92% Mn, 0,067% P и 0,043% S.

69. Шлак томасовского чугуна Керченского завода (ныне завода им. Войкова), выплавлявшегося до империалистической войны; в шахте одна керченская руда (брикетированная).

70. То же, в шихту входила и криворожская руда.

71. То же, современная шихта из 80% агломерата керченской руды и 20% сырой (керченской и криворожской); отношение CaO:SiO₂ слишком низко, но, по данным завода, получение малосернистого чугуна обеспечено (S не выше 0,06%), содержание Si — 0,6% и ниже в количестве 90% всей выплавки чугуна.

72. То же, плавка из одним агломератом из керченской руды; чугун содержал: 0,47% Si, 1,44% Mn и 2% P.

Шлаки заграничных коксовых доменных печей. Мартеновский чугун

	73	74	75	76	77	78	79	80	81
SiO ₂	36,5	33,6	32,5	28,0	33,0	36,7	30,5	38,0	34,6
Al ₂ O ₃	9,3	12,4	9,6	19,5	14,4	19,2	23,5	12,7	14,8
FeO	1,5	0,6	1,3	0,6	0,6	—	1,5	—	0,5
MnO	3,6	0,4	2,9	0,8	0,9	—	0,3	0,6	0,9
CaO	32,6	42,3	32,6	40,4	44,1	40,2	39,7	43,9	43,5
MgO	13,7	5,4	16,0	6,8	3,8	1,9	3,6	1,7	2,0
CaS	2,1	3,6	4,6	3,9	3,2	2,0	1,2	2,6	3,5
Теплота плавления	375	400	400	420	380	400	400	355	375
Степень кислотности	1,0	0,89	0,83	0,7	0,84	0,91	0,68	1,05	0,91
SiO ₂ : Al ₂ O ₃	3,9	2,71	3,38	1,43	2,30	1,91	1,3	3,0	2,37
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃) : RO	1,0	0,96	0,87	1,01	0,99	1,33	1,25	1,11	1,08
RO : SiO ₂	1,27	1,42	1,50	1,69	1,45	1,15	1,42	1,20	1,31

73. Шлак мартеновского чугуна, содержавшего 0,3% Si, 2,5% Mn, 0,1% P; руда — штирийского Эрцберга, кокс — моравский.

74. Шлак завода Крупна в Эссен-Борбеке; сложная шихта из разнообразных импортных руд; кокс — вестфальский.

75. Шлак силезского завода, полученный из шихты сложного состава; флюс — доломит; кокс — силезский; чугун содержал: 0,5% Si; 2,75% Mn и 0,06% S.

76. Шлак завода внутренней Англии, полученный плавкой местных бедных бурых железняков и сидеритов, сильно фосфористых. Чугун содержал: 0,9% Si; 1,5% Mn и 1,7% P.

77. Шлак Кливлендского округа (Англия), полученный плавкой местных сидеритов с примесью бурых железняков Испании и Нормандии, красного железняка Алжира и магнитного железняка Швеции на деремском коксе; благодаря импортным рудам содержание P в чугуне понижено до 0,7% (1% Si и 1,5% Mn).

78. Шлак австралийского завода Брокен-Гил; руда — красный железняк; в чугуне: 1% Si; 0,2% P и 2% Mn.

79. Шлак индийской доменной печи фирмы Тата; руда — очень богатый красный железняк в высокоглиноземистой пустой породой, кокс — местный, сильно волнистый; чугун с 1% Si и 0,5% Mn.

80. Шлак американской доменной печи, работающей на рудах Верхнего озера и коннельсвилльском коксе; чугун — маломарганцевый (менее 1% Mn).

81. То же, шихта с прибавкой глиноземистой марганцевистой руды Кайюна; чугун — с повышенным содержанием марганца (1,5—2%).

Шлаки коксовых доменных печей СССР. Мартеновский чугун

	82	83	84	85	86	87	88	89	90
SiO ₂	34,7	38,5	37,5	35,5	38,1	35,4	34,8	38,6	39,7
Al ₂ O ₃	10,9	8,5	11,0	9,3	20,4	19,3	18,4	16,4	17,8
FeO	0,7	0,4	0,8	0,41	0,9	0,9	1,0	0,9	1,2
MnO	2,4	2,9	5,3	1,55	6,2	0,8	2,9	2,5	2,0
CaO	43,1	42,0	38,2	44,3	31,0	27,5	36,4	36,4	31,6
MgO	2,4	2,3	2,7	2,9	2,1	13,9	4,2	3,0	5,0
CaS	5,9	5,4	4,5	5,6	1,1	1,9	2,3	2,2	2,7
Теплота плавления	360	350	350	370	370	350	350	350	350
Степень кислотности	1,00	1,20	1,16	1,03	1,04	0,83	0,89	1,06	1,00
SiO ₂ :Al ₂ O ₃	3,19	4,53	3,41	3,82	1,84	1,83	1,89	2,35	2,23
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃):RO	1,00	1,06	1,19	0,95	1,77	1,08	1,31	1,40	1,57
RO:SiO ₂	1,28	1,15	1,09	1,33	0,87	1,17	1,17	1,02	0,92

82. Шлак мартеновского чугуна — средний для 7 печей Юга из 733 выпусков (по Васильеву) при работе на Криворожской руде исключительно.

83. Шлак завода им. Петровского — более легкоплавкий и кислый, чем средний; чугун содержал: 0,6—1% Si, 2,5% Mn и 0,04% S.

84. Шлак Макеевского завода им. Кирова; средне-месячный анализ; чугун содержал около 0,4% Si; 1,5% Mn, до 0,08% S; в шихте 60% агломерата и кусковой руды Кривого Рога.

85. Шлак Сулинского завода; колоша горючего: 1/2 антрацита + 1/2 кокса.

86. Шлак Надеждинского завода; кокс — кеммеровский, местные глиноземистые руды.

87. Шлак Нижне-Салдинского завода; кокс — кеммеровский; руда — горы Высокой; флюс — доломит, примененный для понижения вязкости глиноземистого шлака.

88. Шлак Магнитогорского завода им. Сталина (средне-месячный состав); кокс из кузнецких углей, руда — горы Магнитной исключительно; чугун содержал: 1% Si; 1,9% Mn и 0,04% S.

89. Шлак Кузнецкого завода им. Сталина; руда горы Магнитной с незначительной примесью местной; чугун содержал 1% Si и 1,5% Mn.

90. Шлак Гурьевского завода (Сибирь); руда горы Магнитной, флюс — мартеновский шлак; горючее — каменный уголь Кеммеровских копей; чугун содержал 2,1% Mn и 0,02% S.

Шлаки опытных плавов, проведенных в СССР

	91	92	93	94	95	96	97	98	99
SiO ₂	38,5	42,6	24,4	39,1	22,0	7,6	47,3	46,7	43,1
Al ₂ O ₃	8,7	12,4	28,9	23,6	29,5	56,8	14,2	не опред.	13,9
FeO	0,9	2,3	1,4	2,8	0,8	0,7	4,4	3,2	1,3
MnO	1,7	1,7	0,4	—	0,2	0,1	5,0	3,2	—
CaO	46,6	36,5	39,0	34,5	40,2	32,5	19,1	21,6	41,7
MgO	—	3,1	6,0	—	1,7	0,9	8,7	13,0	—
CaS	2,5	0,7	—	—	6,4	1,4	0,8	0,9	—
Теплота плавления	375	355	450	370	450	?	?	?	?
Степень кислотности	1,17	1,32	0,47	1,0	0,45	0,11	1,37	—	1,18
SiO ₂ :Al ₂ O ₃	4,42	3,44	0,84	1,67	0,75	0,13	3,33	—	3,10
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃):RO	1,00	1,38	1,17	1,53	1,23	1,93	2,21	—	1,36
RO:SiO ₂	1,22	0,93	1,87	0,88	1,90	0,44	0,59	0,74	0,97

91. Шлак Косогорского завода от плавки на сыром торфе, на переделный чугун. Содержание MgO не определялось, так как в шлаке ее было менее 1%.

92. Шлак Выксунского завода от плавки на торфяном коксе; чугун переделный, содержащий 0,7% Si, 0,5% P и 0,05% S.

93. Шлак Нижне-Тагильского завода от плавки на каменном угле пласта „Мощного“; руда — Высокогорская, флюс — известняк, чугун содержал 2,8% Si и 0,04% S.

94. Шлак Надеждинского завода от плавки на смешанном горючем: $\frac{1}{3}$ древесного угля + $\frac{1}{2}$ карагандинского каменного угля; чугун содержал 1,67% Si и 0,01% S.

95. Шлак Липецкого завода от плавки халиловской руды (латерита) на мартеновский чугун; флюс — известняк.

96. Шлак Надеждинского завода от плавки бокситов „Красной Шапочки“ на глиноземистый цемент. Шлак жидок при температуре не ниже 1500° (вязкость около 13 пуазов при 1500°). Чугун — литейный с содержанием: 2,5% Si; 0,7% Mn и 0,4% P. Горючее смешанное: 8,23 м³ древесного угля и 500 кг кокса в колоше.

97. Шлак Нижне-Тагильского завода от плавки титанистых магнетитов „Кузинской Магнитки“ на соленом коксе. С SiO₂ показано и 27,95% TiO₂. Из других составных частей в шлак входят: 1,94% щелочей, 0,56% V₂O₅ и 0,27 Cr₂O₃; в чугуне было 0,46% V; 0,11% Si и 0,17% S.

98. Шлак Нижне-Тагильского завода от плавки титано-магнетитов „Кузинской Магнитки“ на обыкновенном коксе и смешанном флюсе (известняк + доломит). С SiO₂ показано 30% TiO₂; в шлак входят также: 0,45% V₂O₅ и 0,81% Cr₂O₃; чугун содержал 0,59% V; 0,5% Si и 0,02% S.

99. Шлак Кушвинского завода от плавки агломерата титано-магнетитов на коксе. С SiO₂ показано 8,2% TiO₂; чугун — переделный с 1,07% Si и 0,67% V.

Шлаки от шихты на специальные чугуны, выплавляемые за границей

	100	101	102	103	104	105	106	107	108
SiO ₂	34,1	33,5	32,3	27,8	32,7	26,3	28,6	27,1	33,0
Al ₂ O ₃	9,4	9,4	10,6	11,5	8,2	12,1	8,9	9,4	15,4
FeO	0,9	0,5	0,5	—	—	0,5	0,5	0,5	1,0
MnO	11,5	10,9	11,4	14,6	8,9	14,4	21,6	18,7	—
CaO	31,4	31,7	31,0	33,3	45,0	36,9	33,1	39,9	40,0
MgO	8,1	8,8	9,9	11,2	4,6	3,4 ¹⁾	2,4	1,5	1,9
CaS	4,6	5,2	4,3	не указ.	2,7	6,0	3,2	2,7	8,8
Теплота плавления	360	360	360	420	410	400	360	440	360
Степень кислотности	1,09	1,04	0,97	0,76	1,0	0,79	1,04	0,88	0,90
SiO ₂ : Al ₂ O ₃	3,63	3,56	3,05	2,41	4,0	2,17	3,21	2,88	2,14
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃) : RO	1,10	1,06	1,05	0,87	0,88	0,95	1,05	0,88	1,16
RO : SiO ₂	1,16	1,21	1,27	1,60	1,42	1,53	1,24	1,53	1,27

100. Шлак зеркального чугуна, выплавленного в Зигенском крае из зигенского шпатового железняка (обоженного и сырого) с примесью кавказской марганцевой руды. Чугун с 11% Mn.

101. То же, чугун с 13% Mn.

102. То же, чугун с 20% Mn.

103. Шлак ферромангана (79% Mn), пример лучшей американской практики, завод Стильтон.

104. Шлак ферромангана, выплавленного на моравском коксе; завод Витковиц.

105. Шлак ферромангана, пример лучшей английской практики (80% Mn); в шихту кроме кавказской руды, входят индийская и бразильская.

106. Шлак ферромангана, выплавленного на заводе Круппа, из шихты недостаточно основной, чем и объясняется высокое содержание MnO в шлаке.

107. Шлак от плавки на ферроманган, дутье, обогащенное (до 30,1% по объему) кислородом; завода Гутефунгсгютте; шихта из 80% кавказской и 20% синайской марганцевой руды; в чугуне 79,4% Mn.

108. Шлак от плавки на ферросилиций; германский завод; шихта; агломерат из смеси колошниковой пыли и мелочи разных руд, африканские красные железняки; в сплав 11,4% Si.

¹⁾ Включая 2,2% окиси бария.

Шлаки от шихт на специальные чугуны, выплавляемые в СССР

	109	110	111	112	113	114	115	116	117
SiO ₂	31,6	33,4	33,0	28,4	31,0	36,0	35,4	28,8	39,0
Al ₂ O ₃	10,4	8,6	9,6	8,6	9,0	19,0	25,6	23,2	13,0
FeO	—	0,6	0,6	0,6	0,8	—	—	0,6	0,9
MnO	5,2	11,9	9,9	10,1	5,1	—	0,6	0,8	0,7
CaO	45,3	36,8	37,3	45,3	45,0	37,0	31,5	38,3	38,5
MgO	2,2	2,1	2,5	2,4	2,5	6,6	3,2	2,0	1,5
CaS	4,8	5,4	5,8	3,8	6,2	—	—	6,2	6,0
Температура плавления	420	370	370	420	420	350	360	390	350
Степень кислотности	0,94	1,15	1,08	0,85	0,91	0,87	0,84	0,71	1,17
SiO ₂ : Al ₂ O ₃	3,04	3,88	3,44	3,30	3,44	1,89	1,38	1,24	3,00
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃) : RO	0,88	1,08	1,07	0,78	0,84	1,26	1,76	1,29	1,30
RO : SiO ₂	1,50	1,15	1,21	1,68	1,53	1,21	0,98	1,41	1,03

109. Шлак зеркального чугуна (20% Mn) южного завода, более основной и трудноплавкий, чем типичные зигенские шлаки, но и менее марганцевый.

110. Шлак ферромангана (72%) завода им. Петровского, легкоплавкий и жидкотекучий вследствие низкого содержания CaO и высокого — MnO.

111. То же, более трудноплавкий, но достаточно текучий.

112. То же, весьма основной, нетекучий при 1450° и потому опасный.

113. Шлак ферромангана, на котором прежде велась плавка на южных заводах; по своей трудноплавкости способствовал зарастанию горна.

114 и 115. Шлаки шихты на ферросилиций (11—13% Si) Нижне-Салдинского завода, полученные из бедного (32% Fe) мартита горы Высокой с примесью глиноземистого мартита (в 115 шлаке) и без него (в 114); первый настолько малотекуч, что требует нагрева дутья не ниже 600°. Чугун содержал 11—13% Si при расходе кокса 2,4.

116. Шлак ферросилиция южного завода; шихта глиноземистая.

117. Шлак ферросилиция южного завода; шихта кремнистая. Оба последние шлака легкоплавки, содержат одинаковое количество RO, но второй более удобен для работы, как более текучий.

местных доменных заводов. Здесь этот чугун выплавляется из шпатоватых железняков, известных значительным содержанием марганца, на вестфальском коксе. Зигенские шлаки зеркального чугуна, хотя и заключают в себе магнезию, переходящую из пустой породы руды, прежде отличались недостаточной основностью, чем и объясняется значительное содержание в них MnO (15%). Анализы последнего времени дают меньшие содержания MnO , как, напр., анализы шлаков 100—102 (таблица 27).

Высокой основностью и незначительным, часто, содержанием MnO отличаются шлаки зеркального чугуна наших южных доменных печей, получаемые от плавки богатых никопольской и кавказской марганцевой руды (см. анализ 109 таблицы 28).

Высокомарганцевые чугуны (ферроманганы) на многих заводах Европы выплавляются в настоящее время из кавказского (чиатурского) пиролюзита. Руда эта заключает в себе довольно значительное количество кремнезема (в отличие от бразильской руды), но все же в шлаках ферромангана, выплавляемого из нее, отношение $SiO_2:Al_2O_3$ ниже, чем бы следовало, т. е. эти шлаки слишком глиноземисты. Это объясняется тем, что ферроманган выплавляется с большим расходом горючего (2—2,5) и тем, что зола последнего имеет гораздо более низкое отношение $SiO_2:Al_2O_3$, чем руда.

В таблицах 27 и 28 приведено 9 анализов шлаков ферромангана. Достоинство этих шлаков определяется содержанием в них MnO ; оно может спускаться до 5% в очень основных известковых шлаках (анализ 113 в таблице 28), неудобных для длительной работы. Поэтому обыкновенно составляют шихту на менее основные шлаки, в которых содержание закиси марганца повышается до 15—20% с тем, чтобы использовать эти шлаки в шихтах на передельные чугуны, как руду.

Ферросилиций может быть выплавляем из шихт двух категорий: сварочного шлака и железистых кварцитов или бедных глиноземистых руд; состав шлаков от этих шихт различен. Шлак из руды характеризуется высоким содержанием глинозема и низким отношением $SiO_2:Al_2O_3$, так как значительная часть кремнезема руды восстанавливается. Из сварочного шлака и кварцитов, содержащих лишь ничтожные количества Al_2O_3 , получается — умышленно, чтобы уменьшить содержание окислов RO — сильно кремнистый шлак, с отношением $SiO_2:Al_2O_3$ около 3—4. Мы даем в таблицах 27 и 28 примеры (анализы 108 и 114—117) состава шлаков обоих типов.

В последнее время условия работы доменных печей во многом изменились; изменился поэтому в большей или меньшей мере и состав шлаков в некоторых металлургических районах.

Состав шведских шлаков древесноугольной плавки теперь с переходом на агломерат заметно отличается от прежнего (времен исследований Окермана) тем, что, будучи попрежнему малоглиноземистыми, новые шлаки гораздо более основны, так как содержание кремнезема в них далеко ниже „классического“, как видно из таблицы 16, анализы 5 и 6.

В Англии расширение потребления импортных руд (в добавок к обычным испанским — шведских, алжирских, французских) не только повысило производственные результаты, но изменило и состав шлаков;

в самом кливлендском горном округе работу на одном местном глинистом железняке находят невыгодной и, работая с прибавками в шихту иностранных руд, уже не имеют типичных „кливлендских“ шлаков; мартеновский чугун выплавляется приморскими доменными печами почти из одних импортных руд (таблица 24, шлак 77).

В Германии условия работы доменных печей в послевоенное время особенно резко изменились. Лишившись месторождений минет, Германия перешла на выплавку томасовского (главного продукта производства), как и других сортов чугуна из привозных руд, самого разнообразного происхождения и различного состава. Это позволяет составлять шихту более рационально и давать шлакам желательный, а не вынужденный состав. Томасовские шлаки перестали быть сильно глиноземистыми, литейные шлаки приобрели нормальный состав. Выплавляемый в Германии в большом количестве гематит сопровождается шлаком, характерным для пустой породы испанских руд, из которых он главным образом получается и вместе с тем — рациональным. В таблице 21 анализы 49, 50 и 51 дают состав шлаков новейшего времени, полученных в Германии.

В США открытие марганцовистой руды в районе Верхнего озера (округ Кайюна) изменило состав шлаков мартеновского чугуна, выплавляемого с добавкой названной руды, так как пустая порода ее глиноземиста. В таблице 24 даны 2 анализа (81 и 80), из которых первый относится к шлаку, выплавленному с добавкой руды Кайюна и потому более глиноземистому, а второй — дает состав нормального мартеновского шлака, полученного в последнее время, но из обычной шихты (без руды Кайюна).

В СССР переход Урала к выплавке чугуна на сибирском коксе дал возможность в 1924 г. выяснить значение низкого содержания серы в горючем на состав шлака и выплавляемого при нем чугуна. Шлаки, получавшиеся на Н.-Тагильском и Н.-Салдинском заводах, отличались высоким содержанием глинозема (влияние пустой породы Высокогорской руды) и малым — извести; сумма $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ в них часто доходила до такой величины, какая раньше допускалась только при работе на древесном угле; тем не менее чугун получается чистым по сере. Высокое содержание глинозема делает полезным введение в шихту доломита; в таблице 25 указан состав шлака, полученного с таким флюсом (87).

Плавка на кузнечном коксе позволяет при работе на магнитогорской руде держать более кислые и легкоплавкие шлаки, чем, напр., шлаки наших южных печей. Анализы 88 и 89 дают состав таких шлаков Магнитогорского и Кузнечного заводов.

Работа на одном сибирском угле, содержащем еще меньше серы чем кокс, допускает получение очень кислых шлаков, без вреда для качества чугуна, и достаточно текучих шлаков, несмотря на довольно высокое в них содержание глинозема. Анализ 90 относится к шлаку мартеновского чугуна, полученному на Гурьевском заводе (Сибирь) при плавке магнитогорской руды на каменном угле, причем флюсом служил только мартеновский шлак. Чугун при 2,1% Mn содержал ничтожное количество серы (в среднем несколько менее 0,02%); шлак был очень легкоплавким (температура плавления его 1300°, теплота плавления — 350 кал.), текучесть его выражается 9 пузами при 1500°.

Опытные плавки, проведенные в последнее время в Союзе, дали новый материал для анализов шлаков. Часть этих шлаков сосредоточена в таблице 26; первая колонка (91) цифр в ней дает состав шлака от опытной плавки на сыром (самосушином) торфе и местных бурых железняках с добавкой криворожской руды. Шлак отличается от обыкновенного при ходе на переделный чугун на коксе только низким содержанием CaS , характерным для торфа.

Следующая колонка цифр (92) относится к условиям работы доменной печи Выксунского завода на торфяном коксе при выплавке переделного чугуна. Шихта была менее сернистой (торфяной кокс давал серы меньше, чем торф вследствие того, что расход его был меньше, чем кокса, получавшегося из торфа в доменной печи). Шлак поэтому был гораздо кислее, чем от плавки на торфе, но чугун был чист по сере.

Анализ 93 представляет состав шлака, полученного от выплавки чугуна из Высогорской руды на каменном угле пласта „Мощный“. В шихте характерно высокое содержание глинозема и магнезии (влияние Высогорской руды); сумма $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ велика ввиду того, что содержание серы в угле было очень низко — 0,21% всего.

Шлак 94 является по составу шлаком древесноугольной плавки от работы на сильно глиноземистых местных рудах (Надеждинского района); прибавление Карагандинского каменного угля не отразилось на составе шлака, ввиду низкого содержания в нем серы (чугун был очень чист по сере).

Первые добытые партии руды Халиловского месторождения были подвергнуты опытной плавке на сибирском коксе в небольшой уральской печи и, затем, в гораздо большем количестве, на донецком коксе в доменной печи Липецкого завода и, наконец, на Косогорском заводе. Анализ 95 дает своеобразный (по отношению $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$) состав шлака, полученного плавкой латеритовой разновидности руды, более глиноземистой. Шлак, хотя и трудноплавок, но в достаточной мере текуч.

Исключительного состава шлак дает анализ 96; это шлак от плавки боксита, предназначенный для производства глиноземистого цемента. Чугун, сопровождавший этот шлак, был литейный, нормального состава. По диаграммам нельзя установить ни плавкости, ни текучести этого шлака; опытная плавка показала, что он достаточно удобен для плавки, но нуждается для приобретения текучести в нагреве не ниже 1500° , как было выяснено специальным исследованием вязкости. 1) Плавка велась с прибавкой к древесному углю около 33% по весу кокса; плавка на одном коксе дала бы шлак, менее ценный вследствие разубоживания в нем содержания глинозема золой кокса; прибавка кокса к древесному углю, вероятно, была вызвана опасением не получить иначе необходимой температуры в горне доменной печи (опасение — не основательное).

Опытная плавка титано-магнетитов на „соленом“ коксе велась, как показывает анализ 97, на недостаточно основном шлаке; это способствовало переходу серы в чугун и понижало содержание ванадия в нем, как показывают случайно получавшиеся временами более основные шлаки 2).

1) В. Михайлов и А. Вальдман, „Уральская металлургия“, 1935, № 10, стр. 15.

2) М. Павлов, „Сорена“, 1934, № 8.

Присутствие почти 90% магнезии (из пустой породы руды) и 50% закиси марганца вполне обеспечивало надлежащую текучесть шлака.

Следующий анализ таблицы (98) указывает состав более основного шлака от плавки той же руды на обыкновенном коксе, но с прибавкой к флюсу доломита. Получение малосернистого чугуна при таком составе шлака обеспечивалось, равно как и надлежащая текучесть шлака; затруднения в плавке создавались побочными реакциями титанистых соединений в восстановительной атмосфере доменной печи, следствием которых явилось зарастание горна неплавкими массами и образование тугоплавких настывей на заплевках и стенах шахты.

Плавка на агломерате из обогащенной кусинской руды при составе шлака, указанном в последней колонке (99) табл. 26, идет продолжительное время правильно; но все же и присутствие только 80% титанового ангидрида в шлаке периодически производит то же явление — зарастание горна — и вызывает необходимость время от времени „промыть“ горн обыкновенными шлаками, прекращая плавку титанистых руд.

9. Наименьшее относительное количество шлака, с которым еще могут правильно работать доменные печи, зависит от местных условий плавки: качества чугуна, характера руды, рода горючего.

Литейный и бессемеровский чугун более нуждаются в однообразии хода, от которого зависит постоянство состава продуктов; обыкновенные передельные чугуны в этом отношении менее прихотливы.

Если состав пустой породы руды (или смешения их) постоянен и содержание Fe в шихте подвержено незначительным изменениям, то печь может работать с наименьшим относительным количеством шлака; колебания содержания железа или состава пустой породы руды заставляют держаться более значительного среднего отношения, чтобы не переступать временами за минимум.

Наконец, древесный уголь, позволяя сократить до минимума объем пространства с окислительной атмосферой, допускает столь низкое относительное количество шлака, какое никогда при выплавке чугуна на коксе не наблюдалось и считается недопустимым.

За наименьшее относительное количество шлака при работе на древесном угле можно считать 0,25; увеличение этого отношения до 0,3 всегда желательно, переходить же за отношение 0,5 в сторону увеличения нет никакой выгоды в смысле улучшения хода печи, перерасход же тепла может вызвать излишний расход древесного угля.

При выплавке чугуна на коксе для передельного чугуна можно считать за минимум 0,4, а для литейного — 0,5. Дальнейшее увеличение количества шлака — в последнем случае до 1 приблизительно — полезно, так как облегчает восстановление кремния и гарантирует продукт постоянного состава, но отношение более 1 убыточно.

В практике мы встречаемся со следующими характерными примерами колебаний относительного количества шлаков, заслуживающими быть отмеченными здесь.

Наименьшим количеством шлака обходились древесноугольные печи, когда проплавляли прежде магнитные железняки горы Высокой, без употребления какого-либо флюса; это количество при выходе чугуна около 60% было близко к 0,25; проплавлявшиеся еще раньше более богатые высокогорские руды давали шлака несколько меньше 0,25.

Богатые бурые железняки Бакальского месторождения давали несколько большее количество шлака — 0,28. (Проплавляемая теперь более бедная бакальская руда дает конечно несколько больше шлака.)

Наименьшее количество шлака при коксовой плавке дают богатые красные железняки Кривого Рога, руды Верхнего озера, — хотя и более бедные (от присутствия 12—16% воды), чем криворожские, — и, наконец, смеси разных руд, проплавляемые на заводах Германии, расположенных в рейнско-вестфальском округе; относительное количество шлака в перечисленных случаях практики — от 0,5 до 0,6 при выплавке передельного (мартеновского, а в Германии и томасовского) чугуна.

Руда минет при выплавке томасовского чугуна без флюса образует около 1,0 шлака.

Наибольшим относительным весом шлака характеризуется выплавка чугуна в кливлендском горном округе: здесь при выходе чугуна в 40% количество шлака бывало не менее 1,4 и доходило до 1,5 на 1 чугуна (теперь, вследствие обеднения руды, количество шлака увеличилось до 1,7, но это сделало невыгодной плавку на одной кливлендской руде).

Производство специальных чугунов обыкновенно сопровождается получением большего, чем следует, количества шлака. При выплавке ферросилиция это облегчает восстановление кремния и способствует получению однородного продукта, перерасход же тепла на расплавление шлака не имеет значения, так как для поддержания температурных условий хода печи расходуется громадный избыток тепла, в сравнении с которым лишнее тепло, уносимое шлаком, не имеет значения.

Наименьшее количество шлака, какое удается установить при производстве ферросилиция, составляет около 0,5 (южные заводы СССР).

Выплавка ферромангана из руд, содержащих около 51% Mn, дает до 1 шлака, благодаря не только пустой породе руды, но и большому количеству золы кокса, а также необходимости в значительном расходе флюса для получения основного шлака. Такое количество шлака делает ход печи менее экономичным, но не тем, что требует лишнего тепла на расплавление шлака, а тем, что понижает выход марганца, увеличивая абсолютную потерю его в шлаке и тем удорожая продукт плавки.

10. Производство чугуна на минеральном горючем принуждает считаться с золой — ее составом и количеством, а также и с количеством серы. Расчет шихты, поэтому, требует предварительного установления относительного расхода минерального горючего.

В каждом частном случае практики расход горючего на 1 выплавляемого чугуна всякого сорта точно известен, но так как он зависит от многих факторов, то в руководстве по расчету шихт точно указан быть не может.

В среднем, не принимая во внимание специальных чугунов, относительный расход кокса недавно еще был близок к 1. С таким расходом, несмотря на все разнообразие естественных условий, работали многие заводы, напр., американские при выплавке малокремнистого бессемеровского, а иногда и мартеновского чугуна; южные печи Союза и английские — при производстве мартеновского чугуна; наконец заводы, проплавлявшие одну минет на томасовский чугун.

Однако, за последние годы на многих заводах все более и более

расширяющееся применение импортных богатых руд (в Германии и Англии), переход на агломерат не только коксовых печей, но и древесноугольных (Швеция), изменение способов распределения материалов при завалке в печи, постройка печей наибольшей мощности—все это вызвало более или менее значительное сокращение расхода горючего, как видно из следующих цифр, указывающих средний для всех печей и всех сортов чугуна относительный расход кокса.

	1929	1930	1931	1932	1933
Соедин. Штаты Америки	0,907	0,900	0,884	0,872	0,864
Чехо-Словакия	0,912	0,870	0,861	0,860	—
Германия	1,015	0,985	0,954	0,969	0,962
Бельгия	1,042	1,000	0,972	0,926	—
СССР (красноярск. руда)	1,144	1,193	1,157	1,187	1,073
СССР (магнитогорск. руда)	—	—	—	0,962	0,961
Великобритания	1,265	1,272	1,247	1,206	1,168

Высокий расход кокса печами Великобритании объясняется очень низким выходом чугуна из местных руд и большим относительным количеством выплавленного литейного чугуна—до 35% всего производства, а с гематитом—до 60% (в других странах—до 20% обоих сортов). Низкий расход Чехо-Словакии создан доменными печами Витковиц—одного из лучших заводов Европы.

При выплавке мартеновского и томасовского чугуна расход кокса спускается до 0,85 и даже 0,80 (очень редко ниже) в печах США, Германии; у нас наиболее мощные печи расходуют 0,83—0,9 кокса¹). При работе на литейный чугун расход повышается до 1,0—1,1 (недавно еще нормальным считался расход 1,2); кливлендские печи расходуют теперь около 1,12—1,15 при употреблении одной бедной местной руды (38% выход чугуна), с прибавкой импортных руд расход понижается до 1.

С наибольшим расходом горючего работают доменные печи на специальные чугуны: ферроманган (80%) и ферросилиций (10—12%); этот расход однако далеко не одинаков на разных заводах; советские печи обычно расходуют от 2,3 до 2,5 на 1 ферромангана, употребляя далеко не первоклассную руду. Небольшие печи Англии, специализировавшиеся на производстве ферромангана, применяют смесь кавказской, индийской и бразильской руд и расходуют 2,1 (редко несколько меньше). На больших доменных печах фирмы Иллинойс в Южном Чикаго был достигнут минимальный расход кокса при выплавке ферромангана 1,87 и ферросилиция 1,73. (В других печах США он достигал 3 при работе на бедной руде и кислых шлаках.) Применение нагрева дутья до 900° позволило снизить расход кокса на выплавку ферромангана на заводе Крупна в Берге Борбек до еще меньшей величины.

Наивыгоднейший—при всяких данных условиях—расход горючего

¹) В последнее время даже 0,8, см. М. А. Павлов, „Советская металлургия“, 1937, № 11.

устанавливается ходом печи, а не угадывается при составлении шихты; при назначении новой шихты в расчет умышленно — из осторожности — вводят несколько большее количество кокса и это обстоятельство почти не отражается на составе шлака, получаемом впоследствии при установившемся — по ходу печи — расходе кокса, тем более, что оно маскируется непостоянством состава сырых материалов и колебаниями температуры в печи, что меняет содержание кремния и марганца в чугуна, а следовательно — и состав шлака.

II. Приемы расчета шихт

11. Приступая к расчету шихты, прежде всего устанавливают относительный расход горючего, химический состав чугуна и шлака и задаются относительным количеством последнего. Затем, ведя расчет на определенное количество горючего — 1 000 ч. кокса и объемную единицу древесного угля или колушу, — определяют количество кремнезема восстанавливающегося, чтобы дать требуемое содержание кремния в чугуна, и количество составных частей шихты, вносимое золою и серою (в виде CaS) минерального горючего (зола древесного угля не идет в счет). Далее, по разности определяют вносимые шихтой в чугуна и шлак количества: железа, марганца, SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO и MnO .

Чтобы возможно было ввести шихтой все перечисленные 7 составных частей в требуемом количестве, нужно располагать кроме флюса еще 6 рудами и определить абсолютное количество их разрешением 7 уравнений с 7 неизвестными, что представляет собою очень длительное математическое упражнение.

Но в большинстве случаев практики для ускорения расчетов можно обойтись определением весов требуемых количеств: Fe , SiO_2 , Al_2O_3 и суммы окислов RO (т. е. CaO , MgO , MnO), разрешая всего 4 уравнения с 4 неизвестными — тремя сортами руд и флюсом. Марганец в таком случае точно учитывается лишь в марганцевой руде, вес которой определяется по тому количеству марганца, какое должно перейти в чугуна и шлак. Магнезия, если ее требуется определенное количество в сумме окислов RO , вводится смешанным флюсом из известняка и доломита, взятыми в подходящем соотношении.

Определив решением того или другого числа уравнений количества руд и флюса, входящие в состав шихты, необходимо проверить точность расчета разнесением всех составных частей руд, флюса и минерального горючего между шлаком и чугуном, чтобы убедиться в том, что за вычетом элементов, переходящих в чугуна, шлакующиеся части шихты дают шлак заданного процентного состава и в требуемом количестве.

Изложенный единственный рациональный прием расчета шихты отнимает много времени на выполнение арифметических выкладок, требуя притом неустойного внимания ввиду того, что неизвестные должны определяться с большой точностью, так как незначительные изменения одной из них вызывают большие отклонения в количестве других; между тем, арифметическая точность расчета не находит себе в этом случае практического оправдания, потому что навешивание составных частей шихты производится с грубым приближением. Наконец, рациональный прием расчета шихты далеко не всегда применим.

Обыкновенно, имеющиеся в распоряжении доменной техника руды не позволяют точно установить желательный вес шлака, так как последнего, в большинстве случаев практики, получается по необходимости (бедность шихты) больше, чем следует, а иногда (в случае работы на исключительно богатых рудах) — и меньше. В таких случаях желательный состав шлака получается не определением абсолютных весов составных его частей, а отношениями — $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO}$ и $\text{RO} : \text{SiO}_2$. Зная вес железа, переходящего в чугун, мы можем составить три уравнения — по железу и по двум вышеуказанным отношениям — с тремя неизвестными, т. е. двумя рудами и флюсом.

И при таком решении задачи необходимо делать проверку расчета, которая, между прочим, дает количество шлака и позволяет сделать заключение, достаточен ли, или не чрезмерен ли относительный вес шлака.

Случается, что при составлении шихт нет возможности задаваться не только определенным количеством шлака, но даже и наиболее желательным составом его, так как качество пустой породы имеющихся руд или, чаще, партий руды одного и того же месторождения лишает возможности иметь в шлаке все составные части в желаемом соотношении (Криворожская, Магнитогорская, Высокогорская руды).

В таком случае общий метод рационального расчета шихт не применим, — приходится применять упрощенные приемы расчета шихт, которыми определяется сначала количество флюса на 1 000 ч. минерального горючего, по содержанию золы и серы в нем (зола древесного угля не требует флюса), и для каждой из имеющихся на складе руд. Затем, смотря по составу выплавляемого чугуна, устанавливают то или иное — каждый раз наиболее выгодное в отношении состава и количества полученного шлака — соотношение между имеющимися сортами руд, причем количество флюса в колошу определяется по весу колоши горючего и приходящихся на него весов отдельных руд.

Определение численного значения нескольких неизвестных (количеств разных руд и флюса) алгебраическим путем можно заменить геометрическим построением, прибегая к так называемому „графическому методу Матезиуса“, не устраняющему впрочем арифметических расчетов совсем и даже решения некоторого числа уравнений.

По мнению наших профессоров металлургии — И. А. Соколова, В. Е. Васильева и Н. А. Костылева — графический метод имеет несомненные преимущества перед разработанным нами полным (рациональным) методом расчета. Не разделяя этого мнения, мы в нашем руководстве считали лишним даже говорить о „графическом методе Матезиуса“, так как он — как в первоначальном изложении¹⁾, так и в исправленном и дополненном²⁾ — не мог заменить собою полного расчета шихт. Но названные профессора усовершенствовали метод Матезиуса — уточнили его (усложнив вместе с тем) и выработали особые приемы применения его.

Проф. Н. А. Костылев, предварительно задаваясь хими-

¹⁾ Stahl u. Eisen, 1908, 5 Aug., 1121—1142.

²⁾ W. Mathesius, Die physikalischen und chemischen Grundlagen des Eisenhüttenwesens 2 Aufl., 1924.

ческим составом шлака (а следовательно — его плавкостью), весом шлака, составом чугуна и расходом кокса, т. е., ведя расчет так же как и мы, прибегает к графическому построению только для устраниения решения нескольких уравнений, что, конечно, дает тот же конечный результат, как и наш расчет. В таком виде графический метод является рациональным методом расчета шихт, но, по нашему мнению, он должен называться „Методом Костылева“, а не Матезиуса.

Изложение графического метода на примерах (для лучшего усвоения) неудобно тем, что требует много места¹⁾, мы воспользуемся поэтому тем, что оно выполнено несколькими советскими авторами, и ограничимся ссылкой на их труды²⁾.

12. Определение количества флюса для золы горючего или руды по их анализу может быть произведено различными приемами: 1) по отношению кислорода кремнекислоты к кислороду основных окислов шлака (так наз. „стехиометрическому способу“), 2) по весовым отношениям $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO}$, 3) $\text{RO} : \text{SiO}_2$ и наконец 4) по содержанию одной какой-либо из составных частей шлака или сумме некоторых, а именно: SiO_2 , CaO , $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$, RO .

1) Стехиометрический прием расчета, бывший прежде универсальным способом расчета шихт, а не только приемом для определения количества флюса, основывался на представлении о шлаках, как определенных химических соединениях, плавкость которых, как думали (не располагая точными опытными данными), находится в прямой зависимости от отношения кислорода кислоты к кислороду оснований; полагали, что, напр., для плавки на коксе должны применяться более основные и трудноплавкие шлаки — однокремнеземники (ортосиликаты), тогда как более легкоплавкие полуторакремнеземники и, самые легкоплавкие, двукремнеземники подходят для условий плавки на древесном угле.

Но при одной и той же степени кислотности, шлаки могут иметь самый разнообразный химический состав и, как показал Окерман, быть различной плавкости, поэтому стехиометрический способ расчета шихты противоречит основному положению теории доменной плавки: необходимости согласования физических свойств и химического состава шлака с условиями работы печи и, в частности — с качеством чугуна.

¹⁾ В книге В. М. Павловского, — содержащей, кстати сказать, самое подробное изложение графического метода во всех его вариантах, — два примера расчета по варианту Васильева занимают 17 стр. (156—173).

²⁾ Проф. Н. А. Костылев, Графический способ расчета доменных шихт по Матезиусу, 1931; „Очерки по теории доменного процесса“ того же автора, 1933 (стр. 99—127).

В. М. Павловский, Доменные шлаки и расчет шихт, 1935 (стр. 111—193).

Проф. И. А. Соколов, Чугуны, доменные шлаки и расчет доменных шихт, 1936 (94—123).

А. С. Матвеев, Расчет доменных шихт, 2-е изд. 1936 (стр. 81—99). Второе издание этого краткого руководства вышло с предисловием к 1 изданию. В нем выход книги мотивируется бедностью русской литературы сочинениями по расчету шихт и отсутствием в нашем руководстве новейших данных о вязкости шлаков. В действительности русская литература более богата такими сочинениями, чем какая-либо другая, а наше руководство с данными о вязкости вышло в свет 3 годами раньше, чем 2-ое издание книги А. С. Матвеева.

Удовлетворительный результат применения этого способа может быть получен лишь тогда, когда степень кислотности расчетного шлака задается по соображению с отношением в нем $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$.

В случае древесноугольной плавки задача облегчается тем, что отношение $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ в шлаке устанавливается сразу, при первом взгляде на анализ руды, а наимыгоднейший шлак должен быть всегда легкоплавким и возможно более кислым. Пользуясь диаграммой Гау-Бабу с указанными нами линиями степеней кислотности (фиг. 3 и 4) и нашими таблицами, для всякого данного отношения $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ нужно при применении этого способа расчета подыскать соответственную степень кислотности, что, конечно, легко исполнимо.

Но минеральное горючее вносит в шихту более или менее значительное количество золы с отношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$, отличным от того же отношения в руде, поэтому отыскание подходящей степени кислотности, — которая вдобавок меняется в узких пределах, в то время как шлаки должны быть более разнообразной плавкости, чем в случае древесноугольной плавки — требует в этом случае предварительных подсчетов.

Таким образом стехиометрический способ определения количества флюса удобоприменим лишь для древесноугольных шихт, хотя и в этом случае он требует излишних — по сравнению с другими упрощенными приемами — арифметических выкладок для определения кислорода в составных частях руды, флюса и, при проверке, шлака.

В Швеции для расчета древесноугольных шихт применяется в настоящее время видоизмененное обычное стехиометрическое способ — кислород глинозема не считается, т. е. не присоединяется ни к кислороду оснований, ни к кислороду кислоты. Конечно, коэффициенты кислотности, при этом применяемые, имеют иное численное значение, чем общепринятые. Теоретического обоснования — кроме указания на то, что глинозем может играть роль и кислотного и основного окисла — этот прием расчета не имеет, а ускорение арифметических выкладок, им достигаемое (устраняется из расчета один окисел), незначительно.

2) Второй из перечисленных выше приемов расчета предложен был Пляцом и носит его имя¹⁾. Исходя из положения, что качество чугуна регулируется содержанием в сопровождающем его шлаке суммы $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$, с одной стороны, и RO — с другой, Пляц показал, что расчет шихты по отношению $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3):\text{RO}$ дает более подходящие результаты, чем стехиометрический способ. К сожалению, в своих примерных расчетах автор не обнаружил желанного воспользоваться опубликованными раньше²⁾ (в том же журнале, где была напечатана и статья Пляца) данными Окермана о теплоте плавления шлаков, подкрепив свои выводы лишь чисто практическими данными личного опыта, притом — касающимися только степени текучести шлаков в момент их выпуска из печи (определяемой на-глаз).

Пользуясь способом Пляца, применяют для расчета литейных шихт отношение $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3):\text{RO} = 48/52$ (т. е. 0,932), а для

¹⁾ B. Platz, Stahl u. Eisen, 1892, 2—8.

²⁾ Stahl u. Eisen, 1886, 281—301 и 387—396.

передельных 52/48 (т. е. 1,083) при плавке на минеральном горючем (Пляц не касался в своей статье древесноугольных шихт).

Против расчета по постоянным отношениям $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO}$ мы можем высказать, прежде всего, принципиальное возражение: при одном и том же значении суммы $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ свойства шлака и, в частности, его плавкость и текучесть могут быть различны в зависимости от отношения $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$; для глиноземистых руд эта сумма — а следовательно, и отношение $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO}$ — должна быть больше, чем для кремнистых, что совершенно ясно из диаграмм.

Шлак, заключающий (не считая CaS) 30% SiO_2 , 18% Al_2O_3 и 52% CaO , по химическому своему составу и плавкости (от 440 кал. до 430 кал., смотря по содержанию CaS) подходит для литейного чугуна, но шлак, содержащий то же количество $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ в сумме и лишь 10% Al_2O_3 — легкоплавок (380 кал.) и соответствует ходу печи на мартеновский чугун. Диаграммы Ренкина и Мак-Кефери подтверждают это заключение: температура плавления первого шлака 1600°, а второго 1400°; текучесть первого 15 пазов, а второго 3 при 1500°.

Отношение $48/52 = 0,923$ может быть применяемо как для литейных, так и для передельных шихт при таком, например, отношении $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$, как в рудах Верхнего озера и криворожских; для кливлендских и им подобных глиноземистых руд (отношение в шлаке $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ около $1\frac{1}{4}$) подходит отношение 52/48, указанное Пляц для передельного чугуна, но такие руды, заметим, дают шихту, не соответствующую по своему химическому составу работе печи на передельный чугун.

Способ Пляца может быть применен и к расчету древесноугольных шихт, так как, при всей изменчивости содержания кремнезема и глинозема в них, сумма этих окислов в самых легкоплавких древесноугольных шлаках не выходит из тесных пределов 65—60%, причем, в противоположность коксовым шлакам, большее число относится к наиболее кремнистым шлакам, в которых отношение $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ меняется от 30 до 4, а меньшее — к наиболее глиноземистым, с отношением $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ от 7 до 1.

Среднее значение суммы $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 63$ соответствует отношению $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO} = \frac{63}{37}$. Как видно, из диаграммы Гау-Бабу (фиг. 4), ордината $\text{CaO} = 37$ пересекает изокалии со значениями не более 360 на обширном поле диаграммы, обнимающем шлаки с содержанием SiO_2 от 31 до 60%. То же заключение можно сделать из диаграммы Ренкина. Наконец и в отношении вязкости — шлаки, содержащие 37% CaO , судя по диаграмме Мак-Кефери, не представляют препятствий для правильной работы печи.

Значит, задаваясь отношением $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO} = 63 : 37$ (т. е. 1,7) можно быть уверенным в получении всегда легкоплавких и достаточно текучих шлаков при всех отношениях $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ от 1 до 30.

Правда, с помощью диаграммы легко найти еще более легкоплавкие и текучие основные шлаки с отношением $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO} = 55 : 45$ (т. е. 1,222), но они менее выгодны в экономическом отношении, так как, очевидно, требуют большей затраты основного флюса, дают

больше шлака, который, может случиться, унесет больше тепла, чем несколько более трудноплавкий шлак, получающийся в меньшем количестве. Шлаки с отношением 55:45 могут быть с выгодой допускаемы в древесноугольной плавке лишь тогда, когда в шихту идет самоплавкая руда или руда очень богатая (с 60% и более Fe), потому что в последнем случае затрата на флюс по своей незначительности не имеет значения, а увеличение веса шлака желательно.

Наоборот, если в плавку идет бедная руда, то сбережение флюса и уносимого шлаками тепла имеет хозяйственное значение и уменьшение рассматриваемого отношения, напр., до 68:32 — полезно, но оно возможно только тогда, когда отношение $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ довольно высоко (не менее 5).

Способ Пляца получил широкое применение при расчете шихт коксовых доменных печей, так как он скорее и вернее ведет к цели, чем стехиометрический, им вытесненный; но многие — и практики, и составители руководств по металлургии — придают универсальное значение тем численным отношениям, которые указал Пляц, не замечая необходимости менять их, сообразно качеству пустой породы руды. Наши таблицы 10—13 ясно указывают, как резко меняются свойства шлака с одинаковой суммой кремнезема и глинозема, но с разными отношениями между ними.

3) Несколько меньшим распространением пользуется третий прием расчета — по отношению $\text{RO}:\text{SiO}_2$ — известный практикам давно уже, но сравнительно поздно сделавшийся предмет обсуждения в литературе ¹⁾.

Задаваясь при расчете шихты определенным отношением $\text{RO}:\text{SiO}_2$ в шлаке, глинозем, играющий роль основания при стехиометрическом расчете и суммируемый с кислотой при применении способа Пляца, считают как бы нейтральным веществом, то или иное содержание которого не имеет значения, если соблюдено должное отношение между SiO_2 и RO.

Разумеется, такое допущение не может быть оправдано с теоретической точки зрения, но оно не создает практических неудобств, если, комбинируя при составлении шихт количества различных руд, мы для каждого сорта чугуна будем менять количество глинозема в шлаке в желаемых или хотя бы возможных пределах. Вместе с тем, задаваясь отношением $\text{RO}:\text{SiO}_2$, регулирующим содержание серы в чугуне, мы обеспечиваем наличность в шлаке определенного содержания окислов RO и тем самым не допускаем увеличения содержания SiO_2 за известные пределы, несовместимые с получением чистого по сере чугуна.

Практическое выполнение расчета по этому способу не оставляет желать лучшего в смысле быстроты.

В шлаках доменных печей, работающих на минеральном горючем, отношение $\text{RO}:\text{SiO}_2$ меняется от 16,5 в наиболее основных и трудно-

¹⁾ Статья Blum'a (Stahl und Eisen, 1901, 1024—1029) дала Веддингу повод (Handbuch der Eisenhüttenkunde, B. III, 534) неосновательно назвать указанный способ расчета „способом Blum'a“. Этот способ применялся нашими южными техниками гораздо раньше, чем была напечатана статья Blum'a.

плавких шлаках, до 1,20 в более легкоплавких, но в большинстве случаев значение этого отношения не выходит из пределов 1,4—1,5.

Приведенные раньше анализы дают эту величину для различных шлаков, действительно получаемых при разнообразных условиях хода доменных печей или рекомендуемых, так что для выбора подходящего значения ее в каждом частном случае не может быть затруднений.

Для ускорения отыскания подходящего значения $RO:SiO_2$ на диаграмме Г а у-Б а б ю нами нанесены линии отношений $RO:SiO_2$ вместе с линиями отношений $SiO_2:Al_2O_3$ (фиг. 4).

В древесноугольных шлаках содержание SiO_2 изменяется от 30 до 65%, а содержание RO не велико вообще, поэтому отношение $RO:SiO_2$ в этих шлаках колеблется в более широких пределах, чем в коксовых, не будучи вообще характерным для древесноугольных шихт. Следовательно, нельзя рекомендовать пользоваться отношением $RO:SiO_2$ для расчета этих шихт.

4) Переходя к четвертому способу расчета, нужно прежде всего сказать, что практическая применимость его и теоретическая обоснованность вытекают из того, что было раньше сказано о втором и третьем способах.

В самом деле, если для расчета шихты по отношению $(SiO_2 + Al_2O_3):RO$ мы должны предварительно установить наиболее подходящее при данном отношении $SiO_2:Al_2O_3$ численное значение суммы $(SiO_2 + Al_2O_3)$, то, очевидно, можно определять количество флюса прямо по содержанию $(SiO_2 + Al_2O_3)$ в шлаке, — результат будет тот же, равно как и продолжительность арифметических выкладок.

Точно так же, подыскивая по диаграмме (для ускорения расчета) отношение $RO:SiO_2$, соответственно отношению $SiO_2:Al_2O_3$, мы увидим и численные значения RO и SiO_2 , наиболее подходящие при том же отношении $SiO_2:Al_2O_3$. Задаваясь следовательно численными значениями RO и SiO_2 , мы можем определить количество флюса с наименьшим удобством и скоростью, чем по отношению $RO:SiO_2$. В громадном большинстве случаев коксовой плавки можно вести расчет на содержание $MgO + CaO = 48\%$ (в приведенном к сумме 100 составе шлака).

Четвертый прием расчета одинаково применим для коксовых и древесноугольных шлаков, причем для вторых наиболее удобным является расчет по содержанию $(SiO_2 + Al_2O_3)$ или — что то же, так как разность между 100 и суммой составляет RO — по содержанию RO . Как уже было подробно выяснено, рассчитывая количество флюса на 63% $(SiO_2 + Al_2O_3)$ или на 37% RO , мы не можем получить неудовлетворительного результата и только в исключительном случае, когда $SiO_2:Al_2O_3$ больше 5, более выгодным может оказаться содержание RO в 32%.

Что касается шлаков, получаемых плавкой на минеральном горючем, то для них одинаково удобно вести расчет по сумме $(SiO_2 + Al_2O_3)$, когда содержание глинозема в сырых материалах колеблется в широких пределах, и по отношению $SiO_2:RO$, когда, наоборот, отношение кремнезема к глинозему остается постоянным.

13. Результатом расчета по каждому из изложенных выше упрощенных приемов является количество флюса, потребное для удовлетворения поставленным при расчете требованиям. Зная это количество,

определяют затем: количество шлакующихся частей шихты, процентный состав и относительный вес шлака, его плавкость и текучесть по диаграммам и, наконец, абсолютную потерю тепла на расплавление шлака (по отношению к 1 чугуна), чтобы убедиться в том, что расчет произведен арифметически правильно, и что результат его удовлетворителен с металлургической точки зрения, т. е. в смысле достижения требуемых физических свойств и химического состава шлака, а также и количества последнего.

ПОЛНЫЙ РАСЧЕТ ШИХТ

I. Литейный чугун

1. Рассчитаем шихту на литейный чугун, выплавлявшийся из криворожских руд, донецких (местных) и керченского бурых железняков на донецком коксе.

Чугун содержит 20% Si и 93% Fe; 5% остаются в нем на другие примеси, из которых углерод входит в состав чугуна в количестве 3,5% приблизительно.

Относительный вес шлака в этом случае, благодаря присутствию в шихте бедных руд, может быть принят равным 0,75 (часто у нас на юге для литейного чугуна он бывает меньше).

Состав шлака возьмем нормальный по отношению $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$, а именно:

$$\text{SiO}_2 - 30,00\%, \text{Al}_2\text{O}_3 - 15,00\%, \text{RO} - 48,50\%, \text{MnO} - 0,50\%, \text{CaS} - 6,00\%;$$

но в нем содержание как RO, так и CaS выше обыкновенного ввиду значительного содержания S в донецком коксе.

При относительном расходе кокса 1,2 на 1000 вес. частей его приходится:

$$\begin{aligned} 1000 : 1,2 &= 833,33 \text{ чугуна,} \\ 833,33 \cdot 0,93 &= 775 \text{ Fe в нем;} \\ 833,33 \cdot 0,02 &= 16,67 \text{ Si в чугуне и} \\ 16,67 \cdot 100 : 47 &= 35,47 \text{ SiO}_2 \text{ восстанавливаемого,} \\ 833,33 \cdot 0,75 &= 625 \text{ шлака и в нем:} \\ 625 \cdot 0,3 &= 187,5 \text{ SiO}_2; \\ 625 \cdot 0,15 &= 93,75 \text{ Al}_2\text{O}_3; \\ 625 \cdot 0,485 &= 303,13 \text{ RO;} \\ 625 \cdot 0,005 &= 3,13 \text{ MnO;} \\ 625 \cdot 0,06 &= 37,50 \text{ CaS, что требует } \surd \\ 37,5 \cdot 56 : 72 &= 29,17 \text{ CaO.} \end{aligned}$$

Для составления шихты, кроме флюса, служащего для введения в шлак надлежащего количества окислов RO, необходимо и достаточно располагать тремя рудами, из которых одна должна быть глиноземистой (т. е. с более низким отношением $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$, чем то же отношение в шлаке), а другая кремнистой (т. е. содержать избыток кремнезема против отношения 2 данного случая), чтобы изменением их относительных количеств можно было установить требуемое расчетом отношение $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$; третья же руда необходима для того, чтобы,

при установленном отношении $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$, можно было менять по желанию отношение веса шлака к весу чугуна.

При выборе руд нужно помнить также, что хотя обыкновенно и не указывается точно содержание Mn и P в литейном чугуне, но подразумевается, что количество первого колеблется около 0,5%, а второго — заключается в пределах от 0,5 до 0,75% (более значительные количества P должны указываться специальными спецификациями).

Принимая вышесказанное в соображение, мы из действительно проплавлявшихся в Донецком бассейне руд выберем для данного случая: 1) применявшийся прежде местный бурый железняк („Протопоповка“) — глиноземистый, но малофосфористый, 2) керченскую фосфористую руду — „светлую“, т. е. содержащую меньше марганца, и 3) криворожскую руду первого сорта — богатый красный железняк, с помощью которого легко довести количество шлака до заданной нормы, несмотря на то, что первые две руды бедны.

Кокс содержит 2% серы и 10% золы; состав золы — средний для 10 сортов донецкого кокса; он, как и состав флюса-известняка, указан в нижеследующей табличке.

	Кокс в 1000 ч.	Криво- рожск. 1 сорт %	Про- топо- повка %	Керчен- ская свет- лая %	Флюс- извест- няк %
SiO_2	4,3	3,0	18,0	16,0	1,5
Al_2O_3	2,25	1,0	10,0	3,5	0,5
CaO	0,60	} следы	2,0	1,0	53,2
MgO	0,14		1,0	0,4	0,95
Fe	1,61	66,0	36,0	43,0	—
Mn	0,022	0,04	1,0	0,7	—
P	0,031	0,02	0,2	1,2	—
S	2,00	следы	0,13	0,17	—

Принимая во внимание состав золы кокса и ее количество, мы определяем, что флюс и руда должны дать для образования надлежащего количества шлака и чугуна заданного состава:

$$\begin{aligned} 187,50 - 43,00 + 35,47 &= 179,97 \text{ SiO}_2 \\ 93,75 - 22,50 &= 71,25 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 303,13 - 7,40 + 29,17 &= 324,90 \text{ RO} \\ 775,00 - 16,10 &= 758,90 \text{ Fe.} \end{aligned}$$

Основываясь на составе сырых материалов и имея в виду только, что определенные количества 3 составных частей шлака и железа в чугуне, можно составить для определения их 4 уравнения с 4 неизвестными: x — количество Криворожской руды 1 сорта, y — „Протопоповки“, z — Керченской светлой, u — флюса.

$$\begin{aligned} \text{I. } 0,03x + 0,18y + 0,16z + 0,015u &= 179,97 \text{ (по SiO}_2\text{)} \\ \text{II. } 0,01x + 0,10y + 0,035z + 0,005u &= 71,25 \text{ („ Al}_2\text{O}_3\text{)} \\ \text{III. } 0,03y + 0,014z + 0,5415u &= 324,90 \text{ („ RO)} \\ \text{IV. } 0,66x + 0,36y + 0,43z &= 758,90 \text{ („ Fe).} \end{aligned}$$

Определяя неизвестные, получим:

$$x = 615,7; \quad y = 475,2; \quad z = 422,0; \quad u = 562,76.$$

Сыпь в колошу на 5000 кг кокса (часто встречаемый вес колоши для больших печей) будет:

Криворожской 1 сорта	3079	кг или	40,7%	
Протопоповки	2376	" "	31,4%	
Керченской	2110	" "	27,9%	
Всего руды	7565	кг или	100,0%	
На 1 чугуна	1,816	" "	55,06%	выход чугуна
Флюса	2814	" "	37,2%	руды. сыпи.

Правильность расчета или, вернее, степень его точности проверяется распределением составных частей шихты между шлаком и чугуном, как указано в таблице 29.

Как видно из таблицы 29, 4,5 серы оказывается в избытке или 21% всего ее содержания в шихте; это количество предположено нами улетучившимся, так как процентное содержание CaS в шлаке взято было согласно практическим данным. Если бы мы рассчитали количество флюса на ошлаковку всей серы, то ввели бы в шлак некоторый избыток извести, тем более опасный, чем выше основность расчетного шлака.

Проверка шихты на литейный

Состав шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO	CaS
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	
615,7 Криворожской 1 сорта	3,0	18,47	1,0	6,16	—	—	—	—	Из 2,42 Mn	—	Из 16,67 S
475,2 Протопоповки	18,0	85,54	10,0	47,52	2,0	9,53	1,0	4,75		—	
422,0 Керченской светлой	16,0	67,52	3,5	14,77	1,0	4,22	0,4	1,69		—	
562,7 Известкового флюса	1,5	8,44	0,5	2,81	53,2	299,39	0,95	5,35		—	
1000 Кокса	4,3	43,00	2,25	22,50	0,6	6,00	0,14	1,40		—	
Итого шихтой вносится	—	222,97	—	93,76	—	319,11	—	13,19	3,13	—	37,50
Вычет на чугун и шлак	—	35,47	—	—	—	29,17	—	—	—	—	—
Вычет на улетучивание	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	187,50	—	93,76	—	289,94	—	13,19	3,13	—	37,50
Проц. состав шлака и чугуна	30,00	—	15,00	—	46,39	—	2,11	—	0,50	—	6,00
То же по заводск. анализу	30,00	—	15,00	—	51,06	—	2,11	—	0,50	—	5,33

Как показал один из рассчитанных балансов серы, даже при ходе на томасовский чугуи с холодным колошником (120°) около 6,5% всей серы шихты улетучивается в колошниковых газах. По мере увеличения температуры газов потеря в них серы растет; тем не менее, в дальнейших наших расчетах, для переделных шихт мы не будем принимать во внимание улетучивания серы по незначительности возможной поправки. Что касается бессемеровских, литейных и зеркальных чугунов, то мы примем улетучивание серы равным для первого 10%, а для последних 20%; для ферромангана и ферросилиция нужно полагать на улетучивание не менее 50%. Само собою разумеется, что эти числа часто не вполне соответствуют действительности, но они дают возможность ближе подойти к составу получаемых шлаков, чем в том случае, когда улетучивание серы совсем не принимается во внимание.

Заметим кстатн, что в анализах заводских лабораторий не указывается обыкновенно содержания CaS, и весь кальций предполагается

Таблица 29

чугун коксовой плавки

CaS	Bcero	Fe		Mn		P		S		Si	C	Bcero
Bec	Bec	%	Bec	%	Bec	%	Bec	%	Bec	Bec	Bec	Bec
Из 16,67 S	—	66,0	406,36	0,04	0,25	0,02	0,12	—	—	—	—	—
	—	36,0	171,08	1,0	4,75	0,20	0,95	0,13	0,62	—	—	—
	—	43,0	181,46	0,7	2,95	1,20	5,06	0,17	0,72	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	1,61	16,10	0,022	0,22	0,031	0,31	2,0	20,00	—	29,30	—
37,50	689,66	—	775,00	—	8,17	—	6,44	—	21,34	16,67	29,30	856,92
—	64,64	—	—	—	2,42	—	—	—	16,67	—	—	} 23,59
—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,50	—	—	
37,5 ^в	625,02	—	775,00	—	5,75	—	6,44	—	0,17	16,67	29,30	833,33
6,00	100,00	93,0	—	0,69	—	0,77	—	0,02	—	2,0	3,52	100,00
S _{1/2}	100,00											
1,33	100,00	Относительный вес шлака = 625,02 : 833,33 = 0,75.										

соединенным с кислородом, сера же дается в половинном количестве, так как атомный вес ее в 2 раза меньше, чем кислорода. Сумма от такого упрощения расчетов не меняется, но нужно не забывать, что этим приемом количество CaO в шлаке преувеличивается, и оно таким образом не соответствует содержанию CaO в шлаках с указанным содержанием CaS или, напр., наших нормальных.

Наконец по поводу нашего первого полного расчета шихты нужно сказать, что нами не было принято во внимание испарения других составных частей шихты, кроме серы, и таким образом не было указано влияния этого явления на прием расчета. Оно не играет, правда, заметной роли при плавке на литейный чугун, а на переделный — и подавно, но для расчета шихты на ферросилиций, например, следует принимать в соображение, что отношение веса улетучивающихся составных частей шихты к весу получающегося шлака довольно значительно, и что улетучивание не для всех составных частей шихты одинаково. Каково оно в действительности — это можно приблизительно определить подсчетами только в отдельных частных случаях практики, так как, помимо степени горячности хода, улетучивание составных частей шихты зависит от физического состояния руд и химического их состава, т. е. преобладания той или иной составной части шлака в рудах разных физических свойств.

Во избежание недоразумения оговоримся, что сказанное относится не к механическому увлечению руд газами, которое практиками принимается в соображение при назначении руд в колошу, но совсем не может быть оценено здесь при примерном расчете шихт.

Проф. Н. А. Костылев, думая иначе, дал себе труд вычислить средний вынос для отдельных составных частей шихты по среднему (для 6 южных заводов Союза) составу колошниковой пыли и среднему составу шихты при работе на криворожской руде. Введение поправки на вынос каждой составной части шихты „по Костылеву“ имеет педагогическое значение, но едва ли оно что-нибудь даст для практики. В настоящее время (с переходом на более интенсивную плавку) вынос криворожской руды в 2—3 раза больше, чем принятый проф. Костылевым (всего 20% веса чугуна или около 11,2% веса руды при расходе ее 1,78—1,80 на 1 чугуна); состав пыли тоже изменился (напр., содержание железа в ней доходит до 56%, против 45%, указываемых проф. Костылевым); печи, выплавляющие бессемеровский чугун, имеют вынос больший, чем работающие на мартеновский чугун (бессемеровские руды — исключительно пылеватые). Все это делает то, что учесть вынос руды может с большим или меньшим приближением только техник, хорошо знакомый с состоянием склада руды в данное время — с одной стороны, и работой печи — с другой.

2. Для второго примера расчета шихты на литейный чугун возьмем условия работы доменных печей Франции на нормандских рудах и привозном (деремском) коксе, воспользовавшись для расчета некоторыми данными, опубликованными Трипье¹⁾.

Бурные железняки и карбонаты Нормандии являются прекрасными

¹⁾ Tripiet, Bul. Soc. industr. miner., 1919, 276 и Engineer 1920, 17 sept., XIV.

рудами, переплавляемыми в больших количествах на томасовский чугун¹⁾, они могут служить и для выплавки литейного чугуна, хотя дают больше фосфора, чем нужно, и излишнее количество шлака. Для регулирования содержания первого в желаемых пределах (около 0,7%) и сокращения относительного количества шлака обогащением шихты могут служить богатые пиритные огарки, проплавляемые на заводах Франции в больших количествах при работе на другие сорта чугуна.

Состав плавильных материалов и золы английского кокса, на котором ведется плавка, указан ниже:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
Реми %	8,13	2,06	2,50	0,80	53,05	0,25	0,45	0,03
Андре %	14,50	6,00	2,30	0,90	44,60	0,31	0,50	0,02
Сумон %	18,00	4,50	3,00	1,50	43,00	0,32	0,50	0,0
Обожженный пирит %	3,20	1,40	1,10	0,20	63,20	0,10	0,12	0,68
Кокс (в 1000 ч.)	52,47	35,60	3,46	1,46	2,94	0,25	0,454	1,00
Известняк %	2,00	1,00	52,00	1,00	0,40	—	—	9,00

Задаваясь средним содержанием кремния в чугуне 2,5% и принимая во внимание, что руды, как видно из их анализов, дают около 0,3% марганца в чугуне, а углерода в нем будет около 3,5%, определяем по недостатку содержание железа в чугуне в 92,8%, при желательном содержании фосфора 0,7%.

Относительный расход кокса 1,2 дает на 1 тонну кокса:

$$1000 : 1,2 = 833,33 \text{ чугуна,}$$

$$833,33 \cdot 0,928 = 773,33 \text{ железа в нем и}$$

$$833,33 \cdot 0,025 = 20,83 \text{ кремния, восстанавливающегося из:}$$

$$20,84 : 0,47 = 44,33 \text{ кремнезема.}$$

Задаемся составом шлака несколько иным, чем в предшествовавшем примере: более низкое содержание серы в шихте позволяет с выгодой понизить содержание извести в шлаке и принять, что сумма SiO₂ + Al₂O₃ может быть равна сумме RO, а состав шлака может быть таким:

$$\text{SiO}_2 - 32,0\%; \text{Al}_2\text{O}_3 - 16,0\%; \text{CaO} + \text{MgO} - 48,0\%; \\ \text{CaS} + \text{MnO} - 4\%.$$

Количество шлака может быть доведено до 0,72, что, в связи с химическим составом его, создает более благоприятные условия для восстановления кремния, чем в южных печах Союза. В шлак (на 1000 кокса) перейдет:

$$600 \cdot 0,32 = 192 \text{ SiO}_2$$

$$600 \cdot 0,16 = 96 \text{ Al}_2\text{O}_3$$

$$600 \cdot 0,48 = 288 \text{ RO.}$$

Зола кокса и 200 руды Реми (на 1000 кокса) дают в шлак и чугун:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
1000 кокса	52,47	35,60	3,46	1,46	2,94	0,25	0,454	10,00
200 Реми	16,26	4,12	5,00	1,60	106,10	0,50	0,900	0,06
	68,73	39,72	8,46	3,06	109,04	0,75	1,354	10,06

Превращение серы в CaS требует и дает:

$$10,06 \cdot 56 : 32 = 17,61 \text{ CaO; } 10,06 \cdot 72 : 32 = 22,64 \text{ CaS.}$$

¹⁾ Для чего вывозятся в Германию.

Составные части шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO	CaS
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
442,3 колчеданных огарков	3,2	14,15	1,4	6,19	1,1	4,87	0,2	0,88	—	—	—
482,9 Сумон	18,0	86,92	4,5	21,73	3,0	14,49	1,5	7,25	—	—	—
392,8 Андрэ	14,5	56,96	6,0	23,57	2,30	9,03	0,9	3,54	—	—	—
200 Ремн	8,13	16,26	2,06	4,12	2,50	5,00	0,8	1,60	—	—	—
479,3 известняка	2,0	9,58	1,0	4,79	52,0	249,24	1,0	4,79	Из 1,05 Мп	—	—
1000,0 кокса	—	52,47	—	35,60	—	3,46	—	1,46	—	—	—
Всего	—	236,34	—	96,00	—	286,09	—	19,52	1,36	—	22,64
Вычет на чугун и шлак	—	44,34	—	—	—	17,61	—	—	—	—	—
Вычет на улегу- чивание	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Остается в чугуне и шлаке	—	192,0	—	96,00	—	268,48	—	19,52	1,36	—	22,64
Проз. состав шла- ка и чугуна	32,00	—	16,00	—	44,74	—	3,26	—	0,23	0,00	3,77
То же по завод- скому анализу	32,00	—	16,00	—	47,66	—	3,26	—	0,23	0,00	S/a 0,85

Называя через x — вес пиритных огарков y — руды Сумон, z — руды Андрэ и u — вес известняка, составляем 4 уравнения для определения неизвестных:

$$0,632x + 0,43y + 0,446z + 0,004u = 773,33 - 109,04 = 664,29 \text{ (по Fe)}$$

$$0,032x + 0,18y + 0,145z + 0,02u = 192 - 68,73 + 44,34 = 167,61 \text{ (по SiO}_2\text{)}$$

$$0,014x + 0,045y + 0,06z + 0,01u = 96 - 39,72 = 56,28 \text{ (по Al}_2\text{O}_3\text{)}$$

$$0,013x + 0,045y + 0,032z + 0,53u = 288 + 17,61 - 11,52 = 294,09 \text{ (по RO)}$$

Откуда:

$$x = 442,3; y = 482,9; z = 392,8; u = 479,3.$$

Проверка расчета дана в табл. 30.

Для больших коксовых печей, построенных в Нормандии, нормальный вес колош кокса может быть близким в 6 т. Принимая этот вес колош, получаем нижеследующий состав колош:

на литейный чугун

CaS		Всего		Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 10,06 S	—	63,2	279,53	0,10	0,44	0,12	0,044	0,68	3,008	—	—	—	—	—
	—	43,0	207,65	0,32	1,55	0,50	2,415	—	—	—	—	—	—	—
	—	44,6	175,19	0,31	1,22	0,50	1,964	0,02	0,079	—	—	—	—	—
	—	53,05	106,10	0,25	0,50	0,45	0,900	0,03	0,060	—	—	—	—	—
	—	0,40	1,92	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	2,94	—	0,25	—	0,454	—	10,000	20,83	30,066	—	—	—
22,64	661,95	—	773,33	—	3,96	—	5,777	—	13,147	20,83	30,066	847,11	—	—
—	61,95	—	—	—	1,05	—	—	—	10,060	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,670	—	—	—	—	13,78
22,64	600,00	—	773,33	—	2,91	—	5,777	—	0,417	20,83	30,066	833,33	—	—
3,77	100,00	92,80	—	0,44	—	0,70	—	0,05	—	2,50	3,51	100,00	—	—
0,85	100,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Отношение веса шлака к весу чугуна: $600 : 833,33 = 0,72$.

Пиритных огарков 2 654 кг или 29%
 Бурых железняков: Сумон . . . 2 897 " " 32%
 " " Андрэ . . . 2 357 " " 26%
 " " Реми . . . 1 200 " " 13%

Всего руды в колошу 9 108 кг или 100%
 " " на 1 чугуна 1,82 " " 54,9% выход чугуна
 Флюса в колошу 2 876 " " 31,6% веса руды.

3. Для третьего примера мы выберем условия американской практики, а именно — случай выплавки литейного чугуна из руд Верхнего озера. Как и криворожские, руды эти требуют прибавления в шихту бурых железняков как для увеличения количества фосфора в чугуне, так и для повышения содержания глинозема в шлаке. Бурые железняки округа Maquille — фосфористые, с глиноземистой пустой породой, — входя в количестве 20—25% в состав шихты, в которой главной рудой является красный железняк Верхнего озера, позволяют получать нормального состава и чугун и шлаки при малом расходе горючего.

По личному сообщению автору, на заводе Northwestern Iron Co в Maquille, получают литейный чугун с содержанием 2,5% Si и около 0,7% как марганца, так и фосфора, при расходе горючего только 1,0.

Состав сырых материалов указан ниже. (Руды вследствие высокого содержания влаги и гидратной воды кажутся бледными; но, имея мало шлакующих составных частей, дают только что достаточное количество шлака.)

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
Годжибик	%	9,0	2,0	0,4	0,2	50,0	0,5	0,1	0,03
Мейвил	%	4,5	3,8	5,5	3,5	40,5	0,4	1,25	0,18
Доломит	%	1,5	0,6	31,0	20,0	—	—	—	—
Кокс (в 1000 ч.)		5,05	32,8	—	—	8,5	—	0,15	7,00

Проверка расчета шихты

Составные части шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO	CaS
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
1503 Годжибик	9,0	135,27	2,0	30,06	0,4	6,01	0,2	3,01	Mn	—	Из 7 S
405 Мейвил	4,5	18,22	3,8	15,39	5,5	22,27	3,5	14,17	—	—	
409,8 доломита	1,5	6,15	0,6	2,46	31,0	127,03	20,0	81,96	—	—	
1000 кокса	—	55,05	—	32,80	—	—	—	—	—	—	
Всего	—	214,69	—	80,71	—	155,31	—	99,14	2,76	—	15,7
Вычет на чугун и шлак	—	53,19	—	—	—	12,25	—	—	—	—	—
Вычет на улетучивание	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Остается в чугуне и шлаке	—	161,50	—	80,71	—	143,06	—	99,14	2,76	—	15,7
Проц. состав шлака и чугуна	32,1	—	16,05	—	28,46	—	19,71	—	0,55	—	3,1
То же по заводскому анализу	32,1	—	16,05	—	30,89	—	19,71	—	0,55	—	S _{1/2} +0,7

В чугуне для расчета шихты следует принять содержание железа 92,40% при 2,5 Si. Руды должны дать (на 1000 ч. чугуна и кокса). 924 Fe и 53,19 SiO₂ для восстановления в кремний. Сера кокса требуется и дает:

$$7.56 : 32 = 12,25 \text{ CaO};$$

$$7.72 : 32 = 15,75 \text{ CaS}.$$

Не устанавливая количества шлака, мы зададимся его составом, аналогичным составу предшествующего примера, беря для составления двух уравнений отношение $RO : SiO_2 = 1,5$ и допуская количество $RO = SiO_2 + Al_2O_3$; третье уравнение дает нужное количество Fe.

$$I. 0,083x + 0,11y + 0,021z + 55,05 + 32,80 - 53,19 = \\ = 0,9x + 0,006y + 0,51z - 12,25$$

или

$$0,007x + 0,104y + 46,91 = 0,489z \\ II. 11\frac{1}{2} (0,045x + 0,09y + 0,015z + 55,05 - 53,19) = \\ = 0,09x + 0,006y + 0,51z - 12,25$$

или

$$-0,0225x + 0,129y + 15,04 = 0,4875z \\ III. 0,405x + 0,5y = 924 - 8,5 = 915,5.$$

ты на литейный чугун

Таблица 31

CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 7 S	—	50,0	751,5	0,5	7,52	0,1	1,50	0,03	0,451	—	—	—
	—	40,5	164,0	0,4	1,62	1,25	5,06	0,18	0,729	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	8,5	—	—	—	0,15	—	7,0	25,0	37,11	—
15,75	568,36	—	924,0	—	9,14	—	6,71	—	8,18	25,0	37,11	1010,14
—	65,44	—	—	—	2,14	—	—	—	7,00	—	—	10,14
—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,00	—	—	
15,75	502,92	—	924,0	—	7,0	—	6,71	—	0,18	25,0	37,11	1000,00
3,13	100,00	92,4	—	0,7	—	0,67	—	0,02	—	2,5	3,71	100,00
+0,70	100,00	Отношение веса шлака к весу чугуна: 502,92:1000 = 0,503.										

Откуда определяем:

$$x = 405; y = 1503; z = 409,8.$$

В колошу кокса идет обыкновенно 10 000 англ. фунтов (в печах обыкновенных размеров); поэтому сыль в нее по расчету будет:

Мейвил	4 050 ф.	или	21,20%
Годжибик	15 030 "	"	78,8%
Всего руды	19 080 "	"	100,0%
Всего руды на 1 чугуна	1,908 "	"	52,4%
Флюса в колошу	4 098 "	"	21,4%

выход чугуна
рудной сыпи.

В табл. 31 дано распределение составных частей шихты. Как видно из нее, состав шлака удовлетворяет поставленным при расчете условиям и условиям производства также, хотя количество шлака только что достаточно, и некоторое понижение выхода чугуна было бы желательно. Состав чугуна — нормальный и точно тот, какой получался в действительности.

II. Зеркальный чугун и ферроманган

Возьмем первым примером расчета шихты на зеркальный чугун условия юга Союза, обратив внимание на желательность в этом случае введения в шлак магнезии в более значительном количестве, чем ее дают руды и обычный флюс — известняк.

Задаваясь составом шлака, указывают иногда для марганцевых чугунов не только сумму окислов RO в нем, но и определенное количество магнезии в этой сумме или отношение $CaO:MgO$ в шлаке. Для этого приходится, рассчитывая шихту, вводить вместе с известняком и доломит, или, лучше, магнезиальный известняк (напр., на юге Союза — из Еленовки), что для получения марганцевых чугунов, когда обыкновенно и усиливают содержание магнезии в шихте, требует определения шести неизвестных. Разрешение 6 уравнений требует затраты большого количества времени, поэтому, для облегчения расчета, нужно предварительно установить то отношение доломита к известняку, какое требуется желаемым содержанием магнезии в шлаке, а количество марганцевой руды предварительно определять по количеству марганца в ней, вводя затем в расчет шихты другие составные части этой руды так, как это делалось нами с золой кокса. Ошибка от неприятия в расчет незначительного количества марганца, заключающегося в обыкновенных железных рудах, не имеет практического значения, так как то количество марганца, какое переходит в шлак в виде MnO и улетучивается от испарения марганца и какое, все равно, нельзя заранее установить точно, значительно превосходит содержание Mn в железных рудах.

4. Рассчитаем, для примера, шихту на зеркальный чугун с 20% Mn . Такой чугун содержит около 5,5% суммы углерода, фосфора и серы; полагая, что в него перейдет 0,5% кремния, определим железо по разности — 74%.

Относительное количество шлака примем равным — 0,5; расход кокса с 1,5% S (донецкого) — 1,333.

Принимая содержание SiO_2 в шлаке — 30%, а Al_2O_3 — 10%, найдем, что в шлаке будет 7,2% CaS , если около 20% всей серы улетучится, а на сумму $CaO + MgO$ останется 52,8%, если — как это рекомендует автор — не включать закиси марганца в расчетный шлак.

По предварительному предположению, в шлак может перейти 20% всего марганца шихты. Если, сверх того, 5% Mn будет потеряно от испарения (но не в пыли марганцевой руды, которая учитывается особо, принимая во внимание характер руды), то коэффициент усвоения марганца будет равен 0,75, так что нужно ввести в шихту $\frac{4}{3}$ того количества этого элемента, какое должно быть в чугуне.

Из сказанного следует, что на 1000 ч. кокса приходится:

$$\begin{aligned}
 1000 : 1,333 &= 750,0 \text{ чугуна,} \\
 750 \cdot 0,74 &= 555,0 \text{ Fe в нем;} \\
 750 \cdot 0,005 &= 3,75 \text{ Si в чугуне и} \\
 3,75 \cdot 100 : 47 &= 7,98 \text{ SiO}_2 \text{ восстанавливаемого.} \\
 750 \cdot \frac{4}{8} \cdot 0,2 &= 200,0 \text{ Mn в руде.} \\
 750 \cdot 0,5 &= 375,0 \text{ шлака и в нем:} \\
 375 \cdot 0,3 &= 112,5 \text{ SiO}_2 \\
 375 \cdot 0,1 &= 37,5 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\
 375 \cdot 0,528 &= 198,0 \text{ (CaO + MgO)} \\
 0,2 \cdot 200 \cdot 71 : 55 &= 51,64 \text{ MnO} \\
 375 \cdot 0,072 &= 27,0 \text{ CaS, что требует:} \\
 27 \cdot 56 : 72 &= 21,0 \text{ CaO.}
 \end{aligned}$$

Руды и флюс должны дать:

$$\begin{aligned}
 112,5 - 43,00 + 7,98 &= 77,48 \text{ SiO}_2 \\
 37,5 - 22,5 &= 15,00 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\
 198,0 - 7,4 + 21,0 &= 211,6 \text{ (CaO + MgO)} \\
 555,0 - 16,1 &= 538,9 \text{ Fe} \\
 200 - 0,22 &= 199,78 \text{ Mn.}
 \end{aligned}$$

Из известняка прежнего состава и бахмутского доломита мы составим смешанный флюс, для образования 100 частей которого возьмем 39 ч. известняка и 61 ч. доломита, чтобы отношение извести к магнезии в таком флюсе соответствовало отношению, указанному Окерманом, как невыгоднейшему для образования достаточно плавкого, хотя и весьма основного, силиката из окислов: CaO и MgO.

Одной из трех руд мы возьмем обогащенную промывкой Никопольскую марганцевую руду. Так как отношение кремнезема к глинозему в этой руде довольно низко, то в железных рудах оно должно быть выше,— вот почему мы возьмем „Синюю“ руду (железный блеск Кривого Рога) и Криворожскую 2 сорта, содержащую меньше железа, чем Криворожская 1 сорта, но больше кремнезема; такая замена благоприятна для получения зеркального чугуна,— конечно, лишь с точки зрения химического состава руды; физических качеств руды мы не можем здесь касаться.

Процентный состав тех материалов, которые войдут в расчет, следующий:

	„Синяя“ руда x	Криворожск. руда 2 сорта y	Марганцевая руда M	Флюс z
	в процентах			
SiO ₂	1,5	7,7	9,0	1,8
Al ₂ O ₃	0,2	0,9	2,0	0,8
CaO	следы	0,4	1,5	38,4
MgO		0,2	—	12,0
Fe	68,0	60,0	—	—
Mn	следы	—	51,0	—
P		0,01	0,2	—
S		—	0,13	—

Для определения количества каждого из этих материалов можно составить нижеследующие 4 уравнения:

$$I. 0,015x + 0,077y + 0,09M + 0,018z = 77,48 \text{ (по } SiO_2)$$

$$II. 0,002x + 0,009y + 0,02M + 0,008z = 15,00 \text{ („ } Al_2O_3)$$

$$III. \dots\dots\dots 0,006y + 0,015M + 0,504z = 211,6 \text{ („ } RO)$$

$$IV. \dots\dots\dots 0,68x + 0,60y = 538,90 \text{ („ } Fe).$$

Они разрешаются очень быстро после подстановки значения M , определяемого из условия, что в шихте должно быть 199,78 марганца.

$$0,51M = 199,78; \quad M = 391,73;$$

$$x = 473,1; \quad y = 362,0; \quad z = 403,9.$$

Количество доломита и известняка в шихте будет равно:

$$403,9 \cdot 0,61 = 246,4; \quad 403,9 - 246,4 = 157,5.$$

Значит, в состав шихты на 1000 кг кокса и в колошу (5 т) войдет:

Проверка шихты на

зерк

Состав шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	
473,1 „Синей“ руды	1,5	7,09	0,2	0,95	—	—	—	—	Из 40,0 Мп	—
362,0 Криворожской	7,7	27,87	0,9	3,25	0,4	1,45	0,2	0,72		—
2 сорта	9,0	35,25	2,0	7,83	1,5	5,88	—	—		—
391,73 Марганцевой	1,8	7,27	0,8	3,23	38,4	155,09	12,0	48,46		—
403,9 Смешан. флюса	4,3	43,00	2,25	22,50	0,6	6,00	0,14	1,40		—
1000 Кокса	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Итого шихтой вносится	—	120,48	—	37,76	—	168,42	—	50,58	51,64	—
Вычет на чугун и шлак	—	7,98	—	—	—	21,00	—	—	—	—
Вычет на улетучивание	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	112,50	—	37,76	—	147,42	—	50,58	51,64	—
Прог. состав шлака и чугуна	29,98	—	10,06	—	39,28	—	13,48	—	—	—
Прог. состав шлака включ. MnO	26,35	—	8,86	—	34,53	—	11,84	—	12,10	—
Прог. состав шлака (по зав. анал.)	26,35	—	8,86	—	39,44	—	11,84	—	12,10	—

	На 1000 кг	В колошу	%
„Синей“ руды	473,1	2 366	38,5
Криворожск. № 2	362	1 810	29,5
Марганцевой	391,73	1 959	32,0

Всего руды 1226,83 6 135 100,0

На 1 чугуна руды 1,637 61,1% выход чугуна
 Доломита 246,4 1232 20% веса руды
 Известняка 157,5 788 13% " "

Всего флюса 403,9 2020 33% веса руды.

Проверка расчета дана в таблице 32.

Получающийся шлак кажется очень трудноплавким (около 440 кал.), но работа на нем вполне возможна, благодаря замене значительной части СаО магнизией и переходу в шлак MnO.

5. Вторым примером расчета шихты на зеркальный чугун мы возьмем классический случай — производство зеркального чугуна на месте его возникновения — в Зигенском крае.

Зигенские сидериты содержат марганца столько, что выплавка чугуна с 10—12% Mn ведется без прибавки иных руд, но для получе-

Таблица 32

зеркальный чугун

FeO	CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
—	Из 12,0 S	—	68,0	321,70	—	—	—	—	—	—	Из 7,98 SiO ₂	—	—
—		—	60,0	217,20	—	—	0,01	0,036	—	—		—	—
—		—	—	—	51,0	199,78	0,20	0,783	0,13	0,51		—	—
—		—	1,61	16,10	0,022	0,22	0,031	0,310	1,5	15,0		40,046	—
—	27,00	404,24	—	555,00	—	200,00	—	1,129	—	15,51	3,75	40,046	815,435
—	—	28,98	—	—	—	40,00	—	—	—	12,00	—	—	52,00
—	—	—	—	—	—	10,00	—	—	—	3,435	—	—	13,435
—	27,00	375,26	—	555,00	—	150,00	—	1,129	—	0,075	3,75	40,046	750,00
—	7,20	100,00	74,00	—	20,00	—	0,15	—	0,01	—	0,5	5,34	100,00
—	6,32	100,00	Относительный вес шлака = $375,26 : 750 = 0,5$										
—	+1,41	100,00	" " " (375,26 + 51,64) : 750 = 0,569.										

Поверка шихты на зеркаль

Состояние источника	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO	CaS
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
1039,4 зигенского сидерита	8,30	86,27	0,73	7,59	1,25	12,99	4,40	45,74	Из 27,64 Мп	—	Из 9,5 S
161,75 индийской руды . .	7,50	12,13	2,70	4,37	0,75	1,20	0,45	0,73		—	Из 9,5 S
267,7 известняка	1,05	2,81	0,08	0,21	51,30	137,33	2,33	6,24		—	Из 9,5 S
1 000 кокса	—	34,20	—	26,40	—	2,10	—	1,60		—	Из 9,5 S
Итого шихтой вносится	—	135,41	—	38,57	—	153,62	—	54,31	35,68	—	21,3
Вычет на чугун и шлак . .	—	—	—	—	—	16,63	—	—	—	—	—
„ „ улетучивание . .	—	7,88	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугу- не	—	127,53	—	38,57	—	136,99	—	54,31	35,68	—	21,3
Проц. состава шлак. и чугуна	33,68	—	10,18	—	36,16	—	14,34	—	—	—	5,6
„ „ „ вкл. MnO	30,76	—	9,31	—	33,05	—	13,10	—	8,62	—	5,1

Поверка расчета шихты

Состав шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO	CaS
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	пече
870,8 индийской руды . .	8,0	69,66	1,2	10,45	0,8	6,97	0,5	4,35	Из 44,45 Мп	—	Из 5,2 S
12,85 стружек	—	—	—	—	—	—	—	—		—	Из 5,2 S
362,85 известняка	2,0	7,26	1,0	3,63	52,0	188,68	1,0	3,63		—	Из 5,2 S
1 000 кокса	—	52,47	—	35,60	—	3,46	—	1,46		—	Из 5,2 S
Итого шихтой вносится	—	129,39	—	49,68	—	199,11	—	9,44	57,38	—	11,1
Вычет на чугун и шлак . .	—	4,73	—	—	—	9,10	—	—	—	—	—
„ „ улетучивание . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугу- не	—	124,66	—	49,68	—	190,01	—	9,44	57,38	—	11,1
Проц. состав шлака и чугуна	32,34	—	12,89	—	49,29	—	2,45	—	—	—	3,1
„ „ „ вкл. MnO	28,15	—	11,22	—	42,93	—	2,13	—	12,93	—	2,1

ный чугун (зигенский)

CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
		%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 9,5 S	—	50,40	523,86	9,70	100,82	0,01	0,104	0,24	2,495	Из 7,88 SiO ₂	—	—
—	—	8,20	13,26	50,20	81,20	0,07	0,113	0,02	0,032		—	—
—	—	0,87	2,33	—	—	0,016	0,043	0,01	0,027		—	—
—	—	—	12,40	—	0,67	—	0,33	—	9,50		36,302	—
21,38	438,97	—	551,85	—	182,69	—	0,590	—	12,054	3,70	36,302	787,186
—	16,63	—	—	—	27,64	—	—	—	9,50	—	—	37,140
—	7,88	—	—	—	6,90	—	—	—	2,406	—	—	9,306
21,38	414,46	—	551,85	—	148,15	—	0,590	—	0,148	3,70	36,302	740,740
5,64	100,00	74,5	—	20,0	—	0,08	—	0,02	—	0,5	4,90	100,0
5,16	100,00	Относительный вес шлака = 414,46 : 740,74 = 0,56.										

Таблица 34

на ферроманган

CaS и щелочи	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
		%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 5,2 S	—	4,6	40,05	51,0	444,11	0,06	0,522	0,04	0,348	Из 4,73 SiO ₂	—	—
—	—	95,0	12,20	0,60	0,08	0,05	0,005	0,04	0,004		—	—
—	—	0,1	0,36	—	—	—	—	—	—		—	—
—	—	—	2,94	—	0,25	—	0,454	—	10,00		—	—
11,70	456,70	—	55,55	—	444,44	—	0,981	—	10,352	2,22	30,097	543,64
—	13,83	—	—	—	44,45	—	—	—	5,200	—	—	49,65
—	—	—	—	—	44,44	—	—	—	5,110	—	—	49,55
11,70	442,87	—	55,55	—	355,55	—	0,981	—	0,042	2,22	30,097	444,44
3,03	100,00	12,50	—	80,0	—	0,22	—	0,01	—	0,5	6,77	100,00
2,64	100,00	Относительный вес шлака = 442,87 : 444,44 = 0,998.										

ния богатого зеркального, с 20% Mn, приходится прибавлять к местной руде богатую марганцевую. Мы возьмем индийскую руду, настолько железистую, что она не пригодна для получения сплава с 80% Mn, но для данного случая употребление ее вполне уместно. Состав ее, богатого марганцем зигенского сидерита, местного флюса и золы кокса, на котором ведется плавка, указаны в прилагаемой табличке.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
Сидерит (обоженный) . . . %	8,30	0,73	1,25	4,40	50,4	9,7	0,01	0,24
Индийская руда . . . %	7,50	2,70	0,75	0,45	8,2	50,2	0,07	0,02
Известняк . . . %	1,05	0,08	51,30	2,33	0,87	—	0,016	0,01
Кокс (1000 ч.) . . .	34,20	26,40	2,10	1,60	12,40	0,67	0,33	9,50

В состав зеркального чугуна, кроме 20% Mn, входят: 0,5% Si, 5% суммы C + S + P и потому — 74,5% Fe. Принимая согласно местным данным расход кокса 1,35, на 1000 ч. последнего будем иметь:

$$\begin{aligned}
 1000 : 1,35 &= 740,74 \text{ чугуна и в нем} \\
 740,74 \cdot 0,745 &= 551,85 \text{ Fe,} \\
 740,74 \cdot 0,005 &= 3,704 \text{ Si } (3,704 : 0,47 = 7,88 \text{ SiO}_2) \\
 740,74 \cdot 0,2 &= 148,15 \text{ Mn в чугуне,} \\
 148,15 : 0,8 &= 182,69 \text{ Mn в руде.}
 \end{aligned}$$

В данном случае мы допустили несколько более высокий выход Mn из руды (80%), чем обыкновенно (75%) ввиду того, что из шпатового железняка этот элемент совместно с железом восстанавливается легче, чем из обыкновенной марганцевой руды.

Что касается состава шлака, то в данном случае не приходится озабочиваться повышением содержания в нем MgO — пустая порода сидерита содержит ее достаточно. Отношение SiO₂:Al₂O₃ является вынужденным: оно устанавливается качеством пустой породы взятых руд; остается лишь задаться отношением (CaO + MgO):SiO₂. Его можно взять нормальным, т. е. равным 1,5; местная практика допускает (судя по опубликованным анализам) и меньшее значение этого отношения, чего одобрить нельзя.

Составивши одно уравнение по отношению (CaO + MgO):SiO₂, два других нужно составить по железу и марганцу, чего достаточно для определения трех неизвестных: двух руд и флюса.

$$\begin{aligned}
 \text{I. } 1,5(0,083x + 0,075y + 0,0105z + 34,2 - 7,88) &= 0,0565x + \\
 &+ 0,012y + 0,5363z + 3,70 - 16,63^1) \\
 \text{II. } 0,504x + 0,082y + 0,0087z &= 551,85 - 12,4 = 539,45 \\
 \text{III. } 0,097x + 0,502y &= 182,69 - 0,67 = 182,02. \\
 x &= 1039,4; \quad y = 161,75; \quad z = 267,7.
 \end{aligned}$$

Таблица 33, в которой дано распределение составных частей шихты между чугуном и шлаком, показывает, что шлак строго удовлетворяет поставленному при расчете условию, а количество его — совершенно достаточно.

¹⁾ В ур-ние I входит член 16,63, указывающий количество извести, необходимое для превращения 9,5 S кокса в CaS.

Нужно заметить, что практика допускает замену части обожженного сидерита эквивалентным (по содержанию железа и марганца) количеством сырого, а именно, в аналогичных данному случаям около 12,5% обожженной руды может быть заменено 18% — в круглых цифрах — сырой руды того же качества, что дает около 15% веса рудной сыпи; 13% придется в этом случае на индийскую руду и 72% на обожженный сидерит. Количество флюса по нашему расчету составляет около 21% веса сыпи с сырой рудой; в действительности, при том же составе руд, допускали и меньший расход флюса¹⁾.

6. Рассчитаем теперь шихту на ферроманган, выплаваемый в Англии на деремском коксе из индийской руды, наиболее бедной железом, с добавкой стальной стружки. Сплав, имея 0,5% Si и 7% суммы C+P+S, содержит в себе 12,5% Fe. При расходе горючего 2,25, на 1000 кокса получается:

$$\begin{aligned} 1000:2,25 &= 444,44 \text{ сплава и в нем:} \\ 444,44 \cdot 0,125 &= 55,55 \text{ Fe,} \\ 444,44 \cdot 0,005 &= 2,22 \text{ Si (из } 4,73 \text{ SiO}_2\text{),} \\ 444,44 \cdot 0,8 &= 355,55 \text{ Mn.} \end{aligned}$$

Состав сырых материалов:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
Индийская руда (M) . . . %	8,0	1,2	0,8	0,5	4,6	5,10	0,06	0,04
Стружка (x) . . . %	—	—	—	—	95,0	0,6	0,05	0,04
Известняк (y) . . . %	2,0	1,0	52,0	1,0	0,10	—	—	—
Кокс (1000 ч.)	52,47	35,60	3,46	1,46	2,94	0,25	0,454	10,000

Для определения трех неизвестных мы, кроме уравнений по железу и марганцу, составим 3-е по отношению RO:SiO₂, которое для этого случая возьмем больше, чем для зеркального чугуна, а именно—1,6.

$$\begin{aligned} \text{I.} & \quad 0,51 M + 0,006 x = 444,44 - 0,25 = 444,19 \\ \text{II.} & \quad 0,046 M + 0,95 x + 0,001 y = 55,55 - 2,94 = 52,61 \\ \text{III.} & \quad 1,6 (0,08 M + 0,02 y + 52,47 - 4,73) = 0,013 M + 0,53 y + \\ & \quad + 4,92 - 9,1^2) \text{ или } 0,115 M + 80,56 = 0,498 y \\ & \quad M = 870,8; \quad x = 12,85; \quad y = 362,85. \end{aligned}$$

Проверка расчета—в данном случае очень простого—дана в таблице 34. Шлак получился удовлетворительного состава; количество его—более желательного, но оно является вынужденным.

По поводу данного выше расчета нужно заметить, что плавка на ферроманган не дает возможности применять строго метод полного расчета шихты, так как в этом случае обыкновенно проплавляется только одна марганцевая руда, от богатства которой и состава пустой

¹⁾ O. Simmerbach, Stahl u. Eisen 1914, № 20.

²⁾ Количество серы, переходящей в шлак, принято несколько большим половины содержания ее в коксе, а именно 5,2, чему соответствуют 9,1 CaO и 11,7 CaS.

породы (при данном составе золы кокса) зависит количество и характер получаемого шлака; расчет шихты в этом случае сводится к определению количества флюса для получения шлака достаточной основности и трудноплавкости одним из упрощенных приемов, напр., по количеству RO в шлаке или отношению $RO : SiO_2$, как будет показано дальше.

III. Гематит и бессемеровский чугун

Расчет шихт на бессемеровский, мартеновский и томасовский чугуны, как на переделные чугуны вообще, отличается от произведенных выше тем, что при нем нужно принимать во внимание переход в шлак не только более или менее значительных количеств марганца, но и некоторой части железа.

Смотря по спелости шлаков, содержание FeO и MnO в них бывает различно, так что его приходится угадывать, руководясь средними результатами практики. По отношению к марганцу вопрос усложняется тем, что нужно принимать во внимание также и улетучивание его; зато в этом случае потеря других составных частей шихты не играет роли (не считая серы, которой всегда не достает некоторое — хотя и незначительное — количество).

При расчете шихты на обыкновенный бессемеровский чугун коксовой плавки можно полагать, что марганца восстанавливается не менее двух третей и не более трех четвертей всего его количества.

Для мартеновского — более холодного чугуна — нужно принимать восстановление не менее половины и не более двух третей марганца.

Железо переходит в шлак бессемеровского чугуна при выплавке его на минеральном горючем не более $1\frac{1}{2}\%$ веса шлака, а при плавке на мартеновский чугун обыкновенно около 1% веса шлака.

Томасовский чугун выплавляется на коксе при довольно разнообразных условиях хода печей и ненормальном составе шлаков — пустая порода фосфористых руд содержит слишком много Al_2O_3 ; содержание FeO и MnO в шлаках выше, чем в мартеновских шлаках, и можно полагать, что содержание железа колеблется в них от 1 до $1\frac{1}{2}\%$, а марганца восстанавливается около половины содержания его в шихте.

Такую же степень восстановления марганца (т. е. половину) можно допускать и при расчете древесноугольных шихт при ходе на более или менее спелый чугун. При расчете этих шихт зола угля не принимается во внимание по незначительности ее веса; она дает, однако, около 1—2% суммы щелочей и серы, которые обыкновенно не определяются анализом. Поэтому, для правильного сравнения состава расчетного шлака с действительным, рекомендуется вести расчет шихты так, чтобы сумма флюсующихся окислов в шлаке была равна 98—99% (первая величина, очевидно, относится к тому случаю практики, когда относительное количество шлака невелико).

7. Рассчитаем теперь шихту на бессемеровский чугун древесноугольной плавки, предполагая естественные условия южного Урала, где, действительно, долгое время (на Катавском заводе) выплавлялся такой чугун.

Примем, что в чугун должно перейти 1,75% кремния и 2% марганца (в действительности древесноугольный бессемеровский чугун заключал иногда и большее количество марганца, но это вызывалось не необходимостью, а чисто местными условиями). Углерод вместе с фосфором и серой составляют 4,25% веса чугуна, поэтому на железо в нем остается 92%.

Количество шлака мы установим в 0,4 веса чугуна, чего при древесноугольной плавке вполне достаточно для правильного хода печи даже на горячий чугун.

Расчет будем вести на 1000 весовых частей чугуна:

$$\begin{aligned} 1000 \cdot 0,92 &= 920,0 \text{ Fe в чугуне} \\ 1000 \cdot 0,0175 &= 17,5 \text{ Si „ „ (37,23 SiO}_2\text{)} \\ 1000 \cdot 0,40 &= 400,0 \text{ шлака.} \end{aligned}$$

В состав шлака войдут:

$$\text{SiO}_2 - 45\%; \text{ Al}_2\text{O}_3 - 15\%; \text{ MnO} - 6,45\%; \text{ FeO} - 1,55\% (\text{Fe} - 1,206\%).$$

Количество MnO в шлаке указано в предположении, что половина всего марганца восстановится. В шлак перейдет поэтому:

$$\begin{aligned} 1000 \cdot 0,02 &= 20,00 \text{ Mn} \\ 400 \cdot 0,01206 &= 4,82 \text{ Fe.} \end{aligned}$$

Полагая, далее, что сумма флюсующих окислов будет равна 98,5%, т. е., оставляя 1,5% или 6 в. ч. на щелочи и серу, найдем, что сумма окислов CaO + MgO должна быть равна 30,5%.

Шихта должна дать:

$$\begin{aligned} 400 \cdot 0,45 + 37,23 &= 217,23 \text{ SiO}_2 \\ 400 \cdot 0,150 &= 60,00 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 400 \cdot 0,305 &= 122,00 \text{ CaO + MgO} \\ 920 + 4,82 &= 924,82 \text{ Fe} \\ 20 \cdot 2 &= 40,00 \text{ Mn.} \end{aligned}$$

Местные руды — преимущественно превосходные бурые железняки Бакальского месторождения — малофосфористы и потому вполне пригодны для выплавки бессемеровского чугуна, но они, сверх того, содержат довольно значительное количество марганца; поэтому нам придется составить 5 уравнений с 5-ю неизвестными и, все-таки, по недостатку марганца, кроме трех железных руд, ввести в расчет еще и марганцевую. Мы возьмем в качестве таковой бессемеровский шлак, как оборотный продукт, который должны перерабатывать доменные печи ¹⁾.

¹⁾ На Катавском заводе, заметим кстати, это стали делать по инициативе инж. Ермакова очень давно (1890 г.), когда общепринятым мнением было то, что восстановление Mn из бессемеровских шлаков невозможно при плавке на древесном угле.

Поверка шихты на бессемеровский

Состав шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO	Чугун
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
560,4 Успенской . . .	6,0	33,61	3,5	19,61	0,75	4,20	0,25	1,40	Из 20,00 Mn	Из 4,82 Fe	Из 0,25 S со
458,2 Верхне-Буланской . . .	5,0	22,91	1,5	6,87	1,20	5,50	1,80	8,25			
646,5 Михайловской . . .	21,0	135,75	5,0	32,33	—	—	—	—			
42,2 Бессемеровский шлак	50,0	21,10	1,0	0,42	0,80	0,34	—	—			
193,1 Флюса	2,0	3,86	0,4	0,77	40,00	77,22	13,00	25,09			
Итого шихтой вно- сится	—	217,23	—	60,00	—	87,26	—	34,74	25,80	6,20	6
Вычет на чугун и шлак	—	37,23	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	180,00	—	60,00	—	87,26	—	34,74	25,80	6,20	6
Прод. состав шлака и чугуна	45,00	—	15,00	—	21,81	—	8,69	—	6,45	1,55	1

Заводские анализы указывают на довольно низкое отношение SiO₂ : Al₂O₃ в местных рудах, поэтому, в дополнение к двум ниженазванным сортам бакальской руды, действительно проплавлявшимся на бессемеровский чугун, нам нужно взять третьей рудой кремнистый бурый железняк (южноуральская „Михайловская“ руда).

Флюсом будет служить местный доломит (известняк здесь является более дорогим флюсом).

Состав избранных нами сырых материалов, в округленных цифрах, нижеследующий:

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %	P %	S %
Успенская (x)	6,0	3,5	0,75	0,25	60,0	1,4	0,03	0,01
Верхне-Буланская (y)	5,0	1,5	1,20	1,80	60,0	2,0	0,06	0,02
Михайловская (z)	21,0	5,0	—	—	48,0	1,6	0,03	0,04
Бессем. шлак (v)	50,0	1,0	0,80	—	8,0	30,0	—	—
Доломит (u)	2,0	0,4	40,0	13,0	—	—	0,02	0,04

Основываясь на приведенных данных, мы для определения каждой из составных частей шихты можем составить нижеследующие 5 уравнений с 5-ю неизвестными:

I. $0,060x + 0,050y + 0,210z + 0,50v + 0,02u = 217,23$ (по SiO₂)

II. $0,035x + 0,015y + 0,050z + 0,01v + 0,004u = 60,00$ (по Al₂O₃)

Чугун древесноугольной плавки

CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 0,25 S со щелочами	—	60,0	336,22	1,4	7,85	0,03	0,168	0,01	0,056	Из 37,23 SiO ₂	Из угля	—
	—	60,0	274,91	2,0	9,16	0,06	0,275	0,02	0,092			—
	—	48,0	310,81	1,6	10,34	0,03	0,194	0,04	0,258			—
	—	8,0	3,38	30,0	12,65	—	—	—	—			—
	—	—	—	—	—	0,02	0,039	0,04	0,077			—
6,20	437,23	—	924,82	—	40,00	—	0,676	—	0,483	17,50	41,60	1025,07
—	37,23	—	4,82	—	20,00	—	—	—	0,250	—	—	25,07
6,00	400,00	—	920,00	—	20,00	—	0,676	—	0,233	17,50	41,60	1000,00
1,50	100,00	92,00	—	2,00	—	0,067	—	0,023	—	1,75	4,16	100,00

$$\text{III. } 0,010x + 0,030y + 0,008v + 0,53u = 122,00 \quad (\text{по RO})$$

$$\text{IV. } 0,60x + 0,60y + 0,48z + 0,08v = 924,82 \quad (\text{по Fe})$$

$$\text{V. } 0,014x + 0,020y + 0,016z + 0,30v = 40,00 \quad (\text{по Mn})$$

Откуда:

$$x = 560,4; y = 458,2; z = 646,5; v = 42,2; u = 193,1.$$

Проверка расчета обнаруживает его высокую точность, как показывает таблица 35.

По поводу состава расчетного шлака нужно сказать, что в нем содержание Al_2O_3 , несмотря на значительную примесь Михайловской руды, должно было быть принято выше того, какое в действительности получалось при плавке первых двух руд. Из этого следует, что заводские анализы указывают в рудах содержание Al_2O_3 выше действительного. Этот недостаток присущ анализам очень многих заводских лабораторий, в особенности относящимся к наиболее богатым образцам руд (кириворожской, магнитогорской), что всегда нужно иметь в виду при обсуждении причин разноречия между составом расчетных и действительных шлаков.

8. Рассчитаем шихту на „гематит“, выплавляемый из испанских руд во многих металлургических районах, иногда с добавкой других малофосфористых и богатых руд, в том числе обожженных пиритов. Чугун

Поверка расчета

Составные части шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO	шихта
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	CaS
548,2 Сантандер . . .	3,2	17,54	1,6	8,76	0,3	1,64	0,5	2,75			
365,5 Рубио . . .	13,22	48,32	2,64	9,65	0,3	1,10	0,4	1,46			
679,9 пиритных огарков	3,2	21,76	1,4	9,52	1,1	7,47	0,2	1,36			
100,0 сварочного шлака	30,0	30,0	0,5	0,50	—	—	—	—	Из 4,26 Mn	Из 1,94 Fe	
100,0 доменного шлака	28,0	28,0	11,0	11,00	30,0	30,00	15,0	15,00			
364,3 известняка . . .	1,4	5,10	—	—	53,6	195,30	—	—			
1000 кокса	—	52,47	—	35,60	—	3,46	—	1,46			
Итого шихтой вно- сится	—	203,19	—	75,03	—	238,97	—	22,03	5,50	2,50	
Вычет на чугун и шлак	—	53,19	—	—	—	21,00	—	—	—	—	27,6
Вычет на улетучива- ние	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	150,0	—	75,03	—	217,97	—	22,03	5,50	2,50	27,6
Проц. состав шлака (по заводскому анализу)	30,0	—	15	—	43,6	—	4,4	—	1,1	0,50	5,4

этот должен по содержанию фосфора и марганца быть подобным бес-
семеровскому, а по содержанию кремния — литейному. Мы зададимся
составом: Si — 2,5%, Mn — 1%; так как сумма C + P + S может
быть равна 3,7, то на железо остается 92,8%. Задаваясь расходом хоро-
шего английского кокса в 1,0¹⁾, на 1000 частей последнего нужно
будет иметь в чугуне:

$$\begin{aligned}
 1000 \cdot 0,928 &= 928 & \text{Fe} \\
 1000 \cdot 0,01 &= 10 & \text{Mn} \\
 1000 \cdot 0,025 &= 25 & \text{Si, восстанавливаемого из} \\
 25 \cdot 0,47 &= 53,19 & \text{SiO}_2.
 \end{aligned}$$

Мы зададимся количеством шлака в 500; что касается его состава,
то, ввиду высокого содержания серы в пиритах, шихта будет в такой же
степени сернистой, как шихта наших южных печей, а потому мы должны

¹⁾ На европейских заводах часто указывается расход горючего 1,2 при ра-
боте на такой же чугун, но английские заводы западного берега расходуют 1 и
даже меньше (доменные печи Виктория и Даулес).

Шихты на гематит

CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 12 S	—	52,55	288,08	0,5	2,74	0,03	0,164	0,05	0,274	Из 53,19 SiO ₂	—	—
	—	43,7	159,72	0,6	2,19	0,02	0,073	0,05	0,183		—	—
	—	63,2	429,70	—	—	0,01	0,068	0,68	4,623		—	—
	—	49,0	49,00	0,5	0,50	0,02	0,020	0,1	0,100		—	—
	—	0,5	0,50	9,0	9,00	—	—	1,3	1,300		—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—
	—	—	2,94	—	0,25	—	0,454	—	9,000		—	—
27,00	574,22	—	929,94	—	14,68	—	0,779	—	15,480	25,00	35,821	1021,70
—	74,19	—	1,94	—	4,26	—	—	—	12,000	—	—	} 21,70
—	—	—	—	—	0,42	—	—	—	3,080	—	—	
27,00	500,03	—	928,00	—	10,00	—	0,779	—	0,400	25,00	35,821	1000,00
5,4	100,00	92,8	—	1,0	—	0,080	—	0,04	—	2,50	3,58	100,00

Относительный вес шлака = $500,03:1000 = 0,5$.

установить высокую основность шлака при высоком содержании глинозема, а именно:

SiO_2 — 30%, Al_2O_3 — 15%; $(MgO + CaO)$ — 48%; $(FeO + MnO + CaS)$ — 7%.

На 1000 кокса в шлаке нужно иметь:

$$500 \cdot 0,3 = 150 \text{ } SiO_2$$

$$500 \cdot 0,15 = 75 \text{ } Al_2O_3$$

$$500 \cdot 0,48 = 240 \text{ } (CaO + MgO).$$

По предварительному подсчету, при содержании S в 1000 кокса 9, ужно перевести в шлак около 12S, что требует и дает:

$$12 \cdot 56:32 = 21 \text{ } CaO; \quad 12 \cdot 72:32 = 27 \text{ } CaS.$$

Количество FeO в шлаке мы допустим всего в 0,5%, т. е. 2,5, что потребует 1,94 Fe.

Состав материалов, идущих в плавку, указан ниже.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
Доменный шлак . . . %	28	11	30	15,0	0,5	9	—	1,3
Сварочный . . . %	30	0,5	—	—	49,0	0,5	0,02	0,10
Сантандер (x) . . . %	3,2	1,6	0,3	0,5	52,55	0,5	0,03	0,05
Рубио (y) . . . %	13,22	2,64	0,3	0,4	43,7	0,6	0,02	0,05
Пиритные огарки (z) . %	3,20	1,40	1,1	0,2	63,2	—	0,01	0,68
Известняк (u) . . . %	1,40	—	53,6	—	—	—	—	—
Кокс (1000 ч.)	52,47	35,60	3,46	1,46	2,94	0,25	0,454	9,00

Доменный и сварочный шлаки идут в количестве 100 каждый на 1 000 кокса. Первый введен в шихту для использования марганца (от плавки на ферромарган) и увеличения отношения шлака к чугуна до заданного. 1 000 кокса и два шлака дают вместе:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
Доменный шлак	28,00	11,00	30,00	15,00	0,50	9,00	—	1,30
Сварочный	30,00	0,5	—	—	49,00	0,50	0,02	0,10
Кокс	52,47	35,60	3,46	1,46	2,94	0,25	0,454	9,00
	110,47	47,10	49,92	52,44	9,75	0,474	10,40	

Уравнения для определения количеств трех руд и флюса будут следующие:

- I. $0,5255x + 0,437y + 0,632z = 928 - 52,44 + 1,94 = 877,50$
 II. $0,032x + 0,132y + 0,032z + 0,014u = 150 - 110,47 + 53,19 = 92,72$
 III. $0,016x + 0,0264y + 0,014z = 75 - 47,10 = 27,9$
 IV. $0,008x + 0,007y + 0,013z + 0,536u = 240 - 49,92 + 21 = 211,08.$

Откуда: $x = 548,2$; $y = 365,5$; $z = 679,9$ и $u = 364,3$.

Проверка расчета и распределение составных частей шихты даны в таблице 36. На 5000 кг кокса в колошу войдет:

Доменного шлака . . .	500 кг или	5,5%
Сварочного	500 " "	5,5 "
Сантандер	2 741 " "	30,5 "
Рубио	1 828 " "	20,3 "
Пирита	3 400 " "	38,2 "
Всего руды	8 969 кг или	100%

На 1 чугуна, руды и шлаков . . 1,794 кг или 55,7% выход чугуна.

Всего флюса в колоше 1822 " " 20,2 " веса руды и шлаков.

9. Переходя к расчету шихт на собственно бессемеровский чугун, возьмем прежде всего условия американской практики — точнее района Питсбурга, т. е. выплавки этого сорта чугуна из руд Верхнего озера, — преимущественно пылеватой и сырой „Мисаби“—

на коннельсвилльском коксе. Даем ниже анализы материалов, входящих в состав шихты.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P
Мисаби обыкн. 2 (y) . . . %	3,4	1,6	0,3	0,2	55,0	0,4	0,05
Мисаби обыкн. 1 (x) . . . %	7,0	1,8	0,2	0,2	50,0	0,4	0,04
Маркет бессем. (z) . . . %	7,4	2,4	0,6	0,4	48,0	0,5	0,034
Мисаби марганцовистая %	8,8	2,4	0,36	0,2	49,4	2,5	0,025
Выбросы бессемеровские %	18,0	—	—	—	55,0	0,7	0,05
Известняк %	4,0	1,0	52,0	—	0,10	—	0,006
Кокс (1000 ч.)	55,0	35,0	2,0	—	5,00	—	0,015

Чугун содержит 1,25% Si и 0,8% Mn; так как сумма C + P + S = 4,2%, то на железо остается 93,75%. Принимая расход кокса равным 1 (что близко к среднему, хотя отдельные заводы достигают и меньшего расхода), получим на 1000 кокса:

$$\begin{aligned}
 1000 \cdot 0,9375 &= 937,5 \text{ Fe} \\
 1000 \cdot 0,0125 &= 12,5 \text{ Si, восстанавливаемого из} \\
 1,25 : 0,47 &= 26,6 \text{ SiO}_2 \\
 1000 \cdot 0,008 &= 8 \text{ Mn.}
 \end{aligned}$$

Задаемся нижеследующим составом шлака:

$$\begin{aligned}
 \text{SiO}_2 &— 32\%, \quad \text{Al}_2\text{O}_3 — 14\%, \quad \text{CaO} + \text{MgO} — 48\%, \\
 \text{FeO} + \text{MnO} &— 2\%, \quad \text{CaS} — 4\%.
 \end{aligned}$$

Местная практика допускает при 14% Al₂O₃ до 34% SiO₂, но такой шлак кажется нам слишком легкоплавким. Содержание CaS¹⁾ указано сообразно данным практики и вытекает из указанного содержания S в коксе при относительном количестве шлака 0,54, которое мы и примем для расчета, как часто наблюдаемое¹⁾.

На 1000 кокса в шлаке содержится:

$$\begin{aligned}
 540 \cdot 0,32 &= 172,8 \text{ SiO}_2 \\
 540 \cdot 0,14 &= 75,6 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\
 540 \cdot 0,48 &= 259,2 (\text{CaO} + \text{MgO}) \\
 540 \cdot 0,04 &= 21,6 \text{ CaS (16,8 CaO).}
 \end{aligned}$$

На железо, переходящее в шлак, полагаем 3,11, что дает 4,00 FeO или около 0,75% веса шлака.

Бессемеровских выбросов поступает в печь 64 на 1000 кокса, а марганцовистой Мисаби — 250 (чтобы дать нужное количество марганца в чугун). Все это вместе с золой кокса составит:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe
Выбросы бессемеровские	11,61	—	—	—	35,48
Мисаби марганцовист.	22,00	6,00	0,90	0,50	123,50
Кокс	55,00	35,00	2,00	—	5,00
	88,61	41,00	3,40	—	163,98

¹⁾ Руда Мисаби содержит около 16% влаги и гидратной воды, чем и объясняется малое количество шлака при невысоком выходе чугуна.

Поверка расчета шихты на бессемеровский чуг

ун к

Составные части шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO	CaS
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
497,5 Мисаби 1 . . .	7,0	34,83	1,8	8,96	0,2	1,00	0,2	1,00	Из 5,31 Mn	Из 3,11 Fe	Из 9,6 S
503,9 Мисаби 2 . . .	3,4	17,18	1,6	8,06	0,3	1,51	0,2	1,01			
521,3 Маркет . . .	7,4	38,58	2,4	12,51	0,6	3,18	0,4	2,09			
250,0 Мисаби марганцовистая . . .	8,8	22,00	2,4	6,00	0,36	0,90	0,2	0,50			
64,0 выбросов бессемеровских . . .	18,0	11,61	—	—	—	—	—	—			
505,5 известняка . .	4,0	20,22	1,0	5,06	52,0	262,83	—	—			
1000 кокса	—	55,0	—	35,0	—	2,0	—	—			
Итого шихтой вносится	—	199,37	—	75,59	—	271,40	—	4,60	6,84	4,00	21,6
Вычет на чугун и шлак	—	26,60	—	—	—	16,80	—	—	—	—	—
Вычет на улегучивание	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	172,77	—	75,59	—	254,60	—	4,60	6,84	4,00	21,6
Прог. состав шлака и чугуна	32	—	14	—	47,15	—	0,85	—	1,26	0,74	4,0
Прог. состав (по зав. анал.)	32	—	14	—	50,25	—	0,85	—	1,26	0,74	S/2 0,9

Для определения 4-х неизвестных имеем следующие 4 уравнения

$$I. \quad 0,50 x + 0,55 y + 0,48 z + 0,001 u = 937,5 - 163,98 + 3,11 = 776,63$$

$$II. \quad 0,07 x + 0,034 y + 0,074 z + 0,04 u = 172,8 - 88,61 + 26,60 = 110,79$$

$$III. \quad 0,018 x + 0,016 y + 0,024 z + 0,01 u = 75,6 - 41 = 34,6$$

$$IV. \quad 0,004 x + 0,005 y + 0,01 z + 0,52 u = 259,2 - 3,4 + 16,8 = 272,6$$

Откуда:

$$x = 497,5; \quad y = 503,9; \quad z = 521,3 \text{ и } u = 505,5.$$

Поверка расчета дана в таблице 37.

В одну колошу больших печей района Питсбурга идет 15 000 англ. фунтов кокса (6804 кг); значит, сырь в колошу составит:

ун коксовой плавки (условия района Питсбурга)

CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 9,6 S	—	50,0	248,75	0,4	1,99	0,04	0,199	0,04	0,199	Из 26,6 SiO ₂	—	—
	—	55,0	277,15	0,4	2,02	0,05	0,252	0,03	0,250		—	—
	—	48,0	250,22	0,5	2,60	0,034	0,175	0,04	0,624		—	—
	—	49,4	123,50	2,5	6,25	0,025	0,038	—	0,100		—	—
	—	55,0	35,48	0,7	0,45	0,05	0,032	—	—		—	—
	—	0,1	0,51	—	—	0,006	0,030	—	—		—	—
	—	—	5,00	—	—	—	0,152	—	10,000		—	—
21,60	583,40	—	940,61	—	13,81	—	0,878	—	11,073	12,5	40,722	1019,093
—	43,40	—	3,11	—	5,31	—	—	—	9,600	—	—	19,093
—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,073	—	—	
21,60	540,00	—	937,50	—	8,00	—	0,878	—	0,40	12,5	40,722	1000,0
4,00	100,0	93,75	—	0,80	—	0,088	—	0,04	—	1,25	4,072	100,00
S/2 0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Относительный вес шлака 540:1000 = 0,54

Мисаби 1	7 559 ф. = 27,46%
2	7 463 " = 27,10 "
Маркет	7 820 " = 28,37 "
Мисаби марганц.	3 750 " = 13,60 "
Выбросы бессемеровские	960 " = 3,47 "

Всего руды 27 552 " = 100,00%

На 1 чугуна руды 1,837 или 54,40% выход чугуна

Флюса в колошу 7585 " 38,4% веса руды.

10. Рассчитаем еще шихту на бессемеровский чугун, предполагая естественные условия юга Союза.

Чугун должен содержать:

Si — 1,25%; Mn — 1,50%; S — 0,05%; C + P — 3,95%; Fe — 93,25.

Отношение веса шлака к весу чугуна возьмем равным 0,5. Задаемся составом шлака:

SiO₂ — 32%; Al₂O₃ — 10%; CaO + MgO + MnO + FeO + CaS — 58%.

Содержание SiO_2 в шлаке нами принято ниже, а RO — выше нормального ввиду высокого содержания серы в коксе, именно $1,75\%$, из которых, впрочем, 10% мы будем считать улетучившимся и только остаток — $1,575\%$ — подлежащим ошлакованию.

Допустим, что железо переходит в шлак $0,5\%$ ($0,64\%$ FeO). При относительном расходе кокса 0,9, на 1000 в. ч. его приходится:

1000:0,90	= 1111,1	чугуна		
1111,1 · 0,9325	= 1036,01	Fe в чугуне		
1111,1 · 0,0125	= 13,89	Si „ „	(33,24 SiO_2)	
1111,1 · 0,0150	= 16,67	Mn „ „		
1111,1 · 0,0005	= 0,555	S „ „		
1111,1 · 0,5	= 555,54	шлака		
555,54 · 0,32	= 177,78	SiO_2	в шлаке	
555,54 · 0,10	= 55,55	Al_2O_3	„ „	
555,54 · 0,58	= 322,22	$\text{RO} + \text{CaS}$	„ „	
555,54 · 0,005	= 2,78	Fe	„ „	(3,57 FeO)

Материалом для введения в шихту марганца мы должны прежде всего взять бессемеровский шлак, употреблением которого в плавку на южных заводах возвращается из передела около половины всего марганца чугуна; другая половина, теряемая в доменном шлаке и отбросах операции передела, должна быть пополнена марганцовой рудой.

Положим, что из марганцовых руд восстанавливается 0,7 всего марганца; в таком случае нужно:

$$16,67:0,7 = 23,8 \text{ дать марг. рудой и бес. шлаком}$$

и в том числе:

$$26,8 \cdot 0,5 = 11,9 \text{ марганцовой руды и}$$

$$23,8 \cdot 0,5 = 11,9 \text{ бессемеровским шлаком.}$$

Состав бессемеровского шлака и марганцовой руды таков:

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO	Mn	P	S
	%	%	%	%	%	%	%	%
Бессемер. шлак . . .	55,0	1,5	1,0	—	10,0	20,0	—	0,10
Марганц. руда . . .	9,6	2,6	1,5	—	—	51,0	0,2	0,13

Значит нужно взять:

$$11,9:0,20 = 59,5 \text{ бессемеровского шлака и}$$

$$11,9:0,51 = 23,3 \text{ марганцовой руды.}$$

Такое их количество, вместе с минеральными составными частями кокса, внесет в шихту:

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
59,5 бес. шлака .	32,72	0,89	0,59	—	5,95	11,9	—	0,059
23,3 марг. руды .	2,24	0,61	0,35	—	—	11,9	0,047	0,030
1000,00 кокса . . .	43,00	22,50	6,00	1,40	16,1	0,22	0,310	15,750
Всего	77,96	24,00	6,94	1,40	22,05	24,02	0,357	15,839
В чугун	29,72	—	—	—	22,05	16,67	0,357	0,555
В шлак	48,24	24,00	6,94	1,40	—	7,35	—	15,284

Для перевода серы в шлак нужно:

$$15,284 \cdot 56 : 32 = 26,75 \text{ CaO, что дает}$$

$$15,284 \cdot 72 : 32 = 34,39 \text{ CaS.}$$

Для образования чугуна и шлака шихта должна дать:

$$177,78 - 48,24 = 129,54 \text{ SiO}_2$$

$$55,55 - 24,00 = 31,55 \text{ Al}_2\text{O}_3$$

$$322,22 - (34,39 + 3,57 + 6,94 + 1,40) = 275,92 \text{ CaO} + \text{MgO} + \text{MnO}$$

$$1036,01 + 2,78 - 22,05 = 1016,74 \text{ Fe.}$$

В качестве богатой руды берем руду 1 сорта руд. Ленина, в качестве более бедной и глиноземистой — руду 2 сорта руд. Дзержинского и в качестве бедной, кремнистой — кварцит руд. Большевик. Состав этих руд принимаем следующим:

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %	P %
Руд. им. Ленина, (х) . . .	3,0	1,0	—	—	66,0	0,04	0,02
Руд. им. Дзержинского, (у) . . .	2,8	1,4	—	—	61,0	0,06	0,02
Руд. Большевик, (z) . . .	30,0	5,0	0,4	0,1	44,0	0,05	0,04
Известняк, (и) . . .	1,5	0,5	53,2	0,95	—	—	—

Количество материалов определяем разрешением следующих четырех уравнений:

$$\text{I. } 0,03x + 0,028y + 0,300z + 0,015u = 129,54$$

$$\text{II. } 0,01x + 0,014y + 0,050z + 0,005u = 31,55$$

$$\text{III. } 0,005z + 0,5415u + 71/55 (0,0004x + 0,0006y + 0,0005z + 7,35) = 275,92 + 26,75 \text{ или}$$

$$0,000516x + 0,000775y + 0,005645z + 0,5415u = 293,18$$

$$\text{IV. } 0,66x + 0,61y + 0,44z = 1016,74$$

Разрешая их имеем:

$$x = 1006,0; y = 384,7; z = 268,5; u = 537,1.$$

Проверка, данная в таблице 38, показывает, что приведенные числа определены с большой точностью.

В состав колоши войдет:

	На 1000 кокса	В колошу	%
Руд. им. Ленина	1006,0	5030,0	57,8
„ им. Дзержинского	384,7	1923,5	22,1
„ Большевик	268,5	1342,5	15,4
Бессемеровск. шлака	59,5	297,5	3,4
Марганцовая руда	23,3	116,5	1,3
	1742,0	8710,0	100,0

На 1 т чугуна	1,568	—	63,8 вых. чуг.
Известняка	537,1	2685,5	30,8 веса руды

Поверка шихты на бессемеровский чугун

Состав шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес
1006,0 им. Ленина .	3,0	30,18	1,0	10,06	—	—	—	—	Из 8,117 Мп	Из 2,78 Fe
384,7 им. Дзержинского	2,8	10,77	1,4	5,39	—	—	—	—		
268,5 Большевик	30,0	80,55	5,0	13,42	0,4	1,07	0,1	0,27		
59,5 Бессемеровск. шлак	55,0	32,72	1,5	0,89	1,0	0,59	—	—		
23,3 Марганцовая	9,6	2,24	2,6	0,61	1,5	0,35	—	—		
537,1 Известняк	1,5	8,06	0,5	2,69	53,2	285,75	0,95	5,10		
1000,00 Кокс	—	43,00	—	22,50	—	6,00	—	1,40		
Итого шихтой вно- сится	—	207,52	—	55,56	—	293,75	—	6,77	10,48	3,57
Вычет на чугун и шлак	—	29,72	—	—	—	26,75	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	177,80	—	55,56	—	267,00	—	6,77	10,48	3,57
Прог. состав шлака и чугуна	32,0	—	10,0	—	48,06	—	1,22	—	1,89	0,64
Прог. состав по зав. анализу	32,0	—	10,0	—	52,87	—	1,22	—	1,89	0,64

IV. Томасовский чугун

Почти во всех приведенных до сих пор расчетах мы задавались относительным количеством шлака, как это и следует делать, применяя рациональный метод расчета шихт; но в наичаще встречаемых в действительности случаях количество шлака не может быть установлено по желанию, хотя все же возможно задаваться содержанием составных частей шлака.

Такие случаи представляются при плавке бедных руд вообще, дающих шлака гораздо больше, чем требуется для правильного и экономичного хода печи, в частности же — при выплавке томасовского чугуна, так что при составлении томасовских шихт главной целью является: достижение определенного содержания кремния, фосфора и марганца в чугуне. Смотря по составу руд, количество шлака может при этом в большей или меньшей степени уклоняться от желаемого; руда минет, из которой выплавляется томасовский чугун в Германии, Франции и Бельгии, принуждает уклоняться и от желаемого состава шлака, так как пустая порода этой руды дает низкое отношение SiO₂:Al₂O₃, очень удобное для восстановления кремния, но именно поэтому не соответствующее ходу на малокремнистый фосфористый

коксовой плавки (условия Юга Союза)

CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 15,284 S	—	66,0	663,96	0,04	0,402	0,02	0,201	—	—	Из 29,72 SiO ₂	Из кокса	—
	—	61,0	234,67	0,06	0,231	0,02	0,077	—	—			—
	—	44,0	118,14	0,05	0,134	0,04	0,107	—	—			—
	—	10,0	5,95	20,00	11,930	—	—	0,1	0,059			—
	—	—	—	51,0	11,900	0,20	0,047	0,13	0,030			—
	—	—	16,10	—	0,220	—	0,310	—	15,750			—
34,39	612,04	—	1038,82	—	24,787	—	0,742	—	15,839	13,89	43,203	1137,281
—	56,47	—	2,78	—	8,117	—	—	—	15,284	—	—	26,181
34,39	555,57	—	1036,04	—	16,670	—	0,742	—	0,555	13,89	43,203	1111,100
6,19	100,00	93,25	—	1,5	—	0,065	—	0,05	—	1,25	3,885	100,00
S/2	100,00											
1,38	100,00											

Относительный вес шлака — $555,57 : 1111,1 = 0,500$.

чугун. В Союзе такой чугун получался из смеси керченских руд, богатых фосфором и марганцем, с богатыми железом криворожскими рудами, что позволяло получать шлак и чугун почти нормального состава, но отношение первого ко второму все-таки получалось более высоким, чем следовало бы иметь в виду высокого содержания серы в коксе.

11. Рассчитаем шихту на томасовский чугун, содержащий 0,3% Si, 1,5% Mn, 2,0% P, 3,4% (C+S) и (по недостатку) 92,8% Fe, взяв условия, при которых могут работать приазовские заводы.

В состав нашей шихты войдут руды, процентный состав которых дает нижеследующая табличка.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
	%	%	%	%	%	%	%	%
Криворожская 1 сорта (x)	3,0	1,0	—	—	66,0	0,04	0,02	—
2 (y)	7,7	0,9	0,4	0,2	60,0	—	0,01	—
Керченская смесь (z)	15,16	5,18	1,02	0,57	42,42	2,28	1,43	0,03
Сварочный шлак	30,0	—	—	—	53,0	0,40	—	0,17

Кокс принимаем содержащим 1,6% серы и 10% золы того же состава, какой приводился в предшествовавших расчетах.

Состав керченской руды относится к смеси $\frac{2}{3}$ „темной“ (т. е. марганцевой) и $\frac{1}{3}$ „светлой“ (бедной марганцем) разновидностей. Сварочный шлак идет в шихту в определенном количестве, соответствующем наличности в переделных цехах; мы установим это количество равным 70 кг на 1000 кг кокса.

При относительном расходе кокса 1,0 на 1000 частей его мы должны иметь в чугуна:

Si	Mn	P	Fe
3,0	15	20	928

На восстановление Si расходуется:

$$3 \cdot 100 : 47 = 6,38 \text{ SiO}_2.$$

Для перевода в шлак серы кокса требуется:

$$16 \cdot 56 : 32 = 28 \text{ CaO}$$

и образуется:

$$16 \cdot 72 : 32 = 36 \text{ CaS}.$$

Сварочный шлак и зола кокса вносят в шихту:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO + MgO	Fe	Mn	P
70 сварочн. шлак	21,0	—	—	37,1	0,28	—
1000 кокса	43,0	32,5	7,4	16,1	0,22	0,31
Всего	64,0	32,5	7,4	53,2	0,50	0,31

Задаемся таким составом шлака:

SiO₂—35%; Al₂O₃—12%; (MnO + FeO)—4%; (CaO + MgO + CaS)—49%.

В сумме (MnO + FeO) полагаем 2% Mn, т. е. 2,582% MnO, и, значит, 1,418% FeO или 1,103% Fe.

Для определения количеств трех руд и флюса составим 3 уравнения с 4 неизвестными—по железу (I), по отношению глинозема и кремнезема в шлаке (II) и по отношению SiO₂ и суммы (CaO + MgO + CaS) в нем (III).

$$\text{I. } 0,66x + 0,60y + 0,4242z + 53,2 = 928 + \frac{1,103}{35} (0,03x + 0,077y + 0,1516z + 0,015u + 64,0 - 6,38).$$

$$\text{II. } 12(0,03x + 0,077y + 0,1516z + 0,015u + 64,0 - 6,38) = 35(0,01x + 0,009y + 0,0518z + 0,005u + 22,5).$$

$$\text{III. } 35(0,006y + 0,0159z + 0,5415u + 7,4 - 28,0 + 36) = 49(0,03x + 0,077y + 0,1516z + 0,015u + 64,0 - 6,38)^1.$$

Уравнения разрешаются предварительным определением z —количества керченской руды—по фосфору, приняв однако во внимание и то ничтожное количество его, какое вносится коксом и криворожскими рудами. Сделав это, получим:

$$z = 1372,0$$

и, затем, —

$$x = 337,25; y = 132,6; u = 696,2.$$

¹⁾ Вес железа в шлаке указан по отношению к весу кремнезема в нем.

Поверка расчета дана в таблице 39.

Сыпь на 1000 кг кокса и в колошу (5 т) составит из:

	1000 кг кокса	В колошу	%
Криворожский 1 сорта . .	337,67	1688	17,64
2 . . .	132,6	663	6,94
Керченской (смесь) . . .	1371,33	6857	71,76
Сварочного шлака	70	350	3,66
Всего руды . .	1911,6	9558	100,00
На 1 чугуна руды		1,91	52,3% выход чугуна
Флюса	696,2	3481	36,4, веса руды.

Как видно из таблицы 39 относительный вес шлака равен 0,847, т. е. более благоприятный для хода печи, чем в случае плавки одной руды минет или керченской (1,0—1,1). Выход чугуна из рудного смешения в нашем случае очень высок для томасовского чугуна, он достигается в Европе лишь тогда, когда вводятся в шихту богатые шведские руды.

В только что приведенном примере мы имели, практически говоря, только одну фосфористую руду и, потому можно было обойтись без составления уравнения по фосфору, но обыкновенно имеют для составления шихты несколько фосфористых руд, и тогда надлежащим соотношением между ними или введением малофосфористой руды приходится регулировать содержание фосфора в чугуне. Введение еще одного уравнения слишком затягивало бы расчет, и этого можно избежать, составляя уравнения лишь по железу, фосфору и отношению $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO}$, так как менять по желанию отношение $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ в громадном большинстве случаев невозможно. Даем ниже 2 примера такого расчета.

12. Руды Нормандии, слишком фосфористые, как мы видели, для выплавки литейного чугуна из них одних, вместе с тем дают мало фосфора для производства нормального томасовского чугуна и требуют для этого прибавки минет (что по Трилье и делалось некоторое время), или томасовского шлака и специального фосфористого флюса, или же, что с технической точки зрения более рационально, — прибавки очень богатой фосфором шведской руды, напр., Чируны G, содержащей не менее 4,5% P при 50% Fe.

Задаваясь нормальным составом томасовского чугуна — 0,5 Si, 1,5 Mn, 1,8 P и 92,9% Fe, мы в качестве составных частей шихты, повышающих содержание фосфора, возьмем мартеновский шлак от переработки фосфористого чугуна (на заводе Нормандского металлургич. о-ва он получается с содержанием около 14% P_2O_5), идущего в количестве 60 кг на 1 т кокса, и руду Чируна G, количество которой определим расчетом.

При расходе английского кокса 1075 кг на 1 т чугуна, на 1 000 кокса приходится:

$$\begin{aligned}
 1\,000 : 1,075 &= 930 \quad \text{чугуна и в нем:} \\
 930 \cdot 0,005 &= 4,65 \text{ Si (из 9,9 SiO}_2\text{)} \\
 930 \cdot 0,015 &= 13,95 \text{ Mn (из 27,9 Mn в руде)} \\
 930 \cdot 0,018 &= 16,74 \text{ P} \\
 930 \cdot 0,929 &= 863,97 \text{ Fe.}
 \end{aligned}$$

Состав шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес
337,25 Криворожской 1 сорта	3,0	10,12	1,0	3,37	—	—	—	—	Из 16,91 Mn	Из 9,35 Fe
132,6 Криворожской 2 сорта	7,7	10,21	0,9	1,19	0,4	0,53	0,2	0,27		
1372 Керченской (смесь)	15,16	208,00	5,18	71,07	1,02	13,99	0,57	7,82		
70 Сварочного шлака	30,0	21,00	—	—	—	—	—	—		
696,2 Известняка	1,5	10,44	0,5	3,48	53,2	370,38	0,95	6,61		
1000 Кокса	4,3	43,00	2,25	22,50	0,60	6,00	0,14	1,40		
Итого шихтой вно- сится	—	302,77	—	101,61	—	390,90	—	16,10	21,83	12,02
Вычет на чугун и шлак	—	6,38	—	—	—	28,00	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	296,39	—	101,61	—	362,90	—	16,10	21,83	12,02
Прог. состав шлака и чугуна	35	—	12	—	42,85	—	1,90	—	2,58	1,42
Прог. состав по за- водским анал.	35	—	12	—	46,15	—	1,90	—	2,58	1,42

Для уменьшения числа уравнений возьмем часть нормандских руд в определенном количестве, напр., 400 на 1 000 кокса смеси равных количеств Реми и Мэ. Вместе с 60 мартеновского шлака и коксом они внесут в шихту:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P
200 Реми	16,26	4,12	5,00	1,60	105,10	0,52	0,900
200 Мэ	38,00	10,80	4,80	2,40	86,80	0,52	1,000
60 мартеновск. шлака	6,00	1,20	25,20	3,60	6,00	3,60	3,600
1000 кокса	52,49	35,60	3,46	1,46	2,94	0,25	0,454
	112,75	51,72	38,46	9,06	201,84	4,89	5,954

Остается другими составными частями шихты дать:

$$863,97 - 0,015 \cdot 863,97^1) - 201,84 = 675,09 \text{ Fe,}$$

$$27,90 - 4,89 = 23,01 \text{ Mn}$$

$$16,74 - 5,954 = 10,786 \text{ P.}$$

Руды и флюс, количество которых нужно определить, имеют нижесле-

¹⁾ Положено, что 1,5% Fe переходит в шлак.

томасовский чугуун

CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 16,0 S	—	66,0	222,59	0,04	0,13	0,02	0,07	—	—	Из 6,38 SiO ₂	—	—
	—	60,0	79,56	—	—	0,01	0,01	—	—		—	—
	—	42,42	582,00	2,28	31,28	1,43	19,62	0,03	0,41		—	—
	—	53,0	37,10	0,40	0,28	—	—	0,17	0,12		—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—
	—	1,61	16,10	0,022	0,22	0,031	0,31	1,60	16,00		—	—
36,0	881,23	—	937,35	—	31,91	—	20,01	—	16,53	3,00	33,46	1042,26
—	34,38	—	9,35	—	16,91	—	—	—	16,00	—	—	42,26
36,00	846,85	—	928,00	—	15,00	—	20,01	—	0,53	3,00	33,46	1000,00
+4,25 S _{1/2}	100,00	92,8	—	1,5	—	2,001	—	0,053	—	0,3	3,346	100,00
0,95	100,00	Относительный вес шлака = 846,85 : 1000 = 0,847.										

лующий состав (для двух сортов нормандских руд взяты средние цифры, предполагая, что они идут в равных количествах):

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %	P %	S %
Андре-Сумон (x)	16,25	5,10	2,65	1,20	43,8	0,315	0,50	0,01
Чируна G (y)	1,25	1,00	14,00	1,20	51,0	0,1	4,50	0,04
Марганцовая индийская (z)	7,50	2,70	0,75	0,45	8,2	50,2	0,07	0,02
Известняк (u)	1,40	—	53,6	—	—	—	—	—

Заметив, что на 10 S, содержащейся в коксе, требуется 17,5 CaO, составляем 4 уравнения: по железу, марганцу, фосфору и отношению (SiO₂ + Al₂O₃) к (CaO + MgO), которое для этого случая, как и многих других, может быть принято равным 1.

$$\text{I. } 0,438 x + 0,51 y + 0,082 z = 675,09 \quad (\text{по Fe})$$

$$\text{II. } 0,00315 x - 0,001 y + 0,502 z = 23,01 \quad (\text{„ Mn})$$

$$\text{III. } 0,005 x + 0,045 y + 0,0007 z = 10,786 \quad (\text{„ P})$$

$$\text{IV. } 0,2135 x + 0,0225 y + 0,102 z + 0,014 u + 164,47 - 9,9 =$$

$$= 0,0385 x + 0,152 y + 0,012 z + 0,536 u + 47,52 - 17,5$$

$$\text{или: } 0,175 x - 0,1295 y + 0,09 z + 124,55 = 0,522 u.$$

$$\text{Откуда: } x = 1442,7; y = 78,8; z = 36,6; u = 709,03.$$

Поверка расчета шихты
(Руды Норман

Составные части шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO	Ca
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	
1442,7 Андрэ и Сумон	16,25	234,44	5,1	73,58	2,65	38,23	1,2	17,31	Из 13,95 Mn	Из 12,96 Fe	Из 10,0 S
400 Реми и Мэ . . .	13,56	54,26	3,73	14,92	2,45	9,80	1,0	4,00			
78,8 Чируна G . . .	1,25	0,99	1,0	0,79	1,40	11,03	1,2	0,95			
36,6 Марг. индийск.	7,5	2,75	2,7	0,99	0,75	0,27	0,45	0,17			
60 Мартен. шлак . .	10,0	6,00	2,0	1,20	42,0	25,20	6,0	3,60			
709,03 Известняк . .	1,4	9,93	—	—	53,6	380,04	—	—	Из 13,95 Mn	Из 12,96 Fe	Из 10,0 S
1000,00 Кокс	—	52,47	—	35,60	—	3,46	—	1,46			
Итого шихтой вно- сится	—	360,84	—	127,08	—	468,03	—	27,49	18,00	16,66	22,
Вычет на чугуна и шлак	—	9,90	—	—	—	17,50	—	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	350,94	—	127,08	—	450,53	—	27,49	18,00	16,66	22,
Проц. состав шлака и чугуна	34,64	—	12,54	—	44,47	—	2,71	—	1,78	1,64	2, S/2
Проц. состав по за- водск. анализу . .	34,64	—	12,54	—	46,20	—	2,71	—	1,78	1,64	0,

Поверка расчета и распределение составных частей шихты между шлаком и чугуном дано в таблице 40.

Результат расчета показал, что требующееся количество шведской, т. е. привозной руды крайне незначительно и во много раз меньше, чем необходимое количество минет (по Трипье на 800 кг нормандских руд в шихту шло 1800 кг минет из Брие).

Разумеется, если бы мы взяли Чируну марки D, например, содержащую около 2,0% P, то потребность в шведской руде была бы более значительна, но такая руда дала бы до 62% Fe, что заметно увеличило бы выход чугуна.

Итак, состав колош на 6000 кг кокса будет:

Андрэ	4 328 кг или 35,74%
Сумон	4 328 " " 35,74 "
Реми	1 200 " " 9,91 "
Мэ	1 200 " " 9,91 "
Чируна	473 " " 3,90 "
Марганцовая индийская	220 " " 1,82 "
Мартеновский шлак	360 " " 2,98 "

Всего руд и шлаков . . . 12 109 кг или 100,00%

На 1 кг чугуна руды 2,17 кг или 46,1 % выход чугуна
Флюса в колошу 4254 " " 35,13 , веса руды.

на томасовский чугун
дин и Швеции)

CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 10,0 S	—	43,8	631,90	0,315	4,55	0,5	7,214	0,01	0,144	Из 9,9 SiO ₂	—	—
	—	48,23	192,90	0,26	1,04	0,475	1,90	0,035	0,140		—	—
	—	51,0	40,19	0,01	0,08	4,5	3,546	0,04	0,032		—	—
	—	8,2	3,00	50,2	18,38	0,07	0,025	0,02	0,007		—	—
	—	10,0	6,00	6,0	3,60	6,0	3,60	0,4	0,240		—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—
	—	—	2,94	—	0,25	—	0,454	—	10,000		30,128	—
22,50	1040,60	—	876,93	—	27,90	—	16,739	—	10,563	4,65	30,128	966,91
—	27,40	—	12,96	—	13,95	—	—	—	10,000	—	—	36,91
22,50	1013,20	—	863,97	—	13,95	—	16,739	—	0,563	4,65	30,128	930,00
2,22	100,00	92,90	—	1,50	—	1,80	—	0,06	—	0,50	3,24	100,00
S ₂ 0,49	100,00											

Относительный вес шлака = 1013,24 : 930 = 1,09.

При производстве томасовского чугуна приходится разрешать и обратный вопрос — введением бедных фосфором материалов понижать содержание P в чугуне до нормальных пределов, когда, например, руда минет одна дает его слишком много. Таким материалом, прежде всего, должен служить сварочный шлак, улучшающий шихту своим кремнеземом, а при недостатке его — обожженные пириты или богатая шведская руда, хотя бы и фосфористая, напр., марки С. Ниже мы рассчитали такую именно шихту.

13. Положим, что мы имеем дело со смесью кислой и основной минет рудника Мишель в Лотарингии, имеющей нижеуказанный состав¹⁾:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P
	%	%	%	%	%	%	%
Кислая	15,7	6,1	5,6	1,5	38,7	0,31	0,9
Основная	8,6	3,9	23,3	0,9	25,4	0,27	0,6

Легко убедиться, что руды эти, даже при значительном преобладании последней над первой, дают чугун с содержанием более 2% P и чтобы иметь его лишь 1,8% нужно ввести кроме сварочного шлака (при коли-

¹⁾ Langrogne et Bergerat, Ann. des Mines 1920, №№ 7, 8, 9.

честве его 70 кг на 1000 кг кокса) еще бедную фосфором руду. Мы выберем — Елливаре С; состав ее указан ниже.

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %	P %	S %
Елливаре С	3,5	0,6	2,1	1,1	65	0,1	0,3	0,01

1000 вестфальского кокса, на котором ведется плавка, 70 сварочного шлака и 40 индийской руды (прежнего состава) дадут в шихту:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
1000 кокса	44,0	30,0	3,00	1,5	13,0	0,4	0,25	10,86
70 сварочного шлака	21,0	0,7	—	—	35,0	0,21	0,07	—
40 индийск. руды	3,0	1,08	0,30	0,18	3,28	20,08	0,028	0,008
	68,00	31,78	3,30	1,68	51,28	20,69	0,348	10,868

Задаемся прежним составом чугуна (пример II) и тем же расходом кокса (1,075); но ввиду более высокого содержания S в нем берем 19 CaO на превращение S в 24,43 CaS.

Составляя уравнения по железу и фосфору (марганец уже введен в нужном количестве) в предположении равенства сумм (SiO₂ + Al₂O₃) и (CaO + MgO), будем иметь только 3 уравнения, а именно:

$$I. 0,65 x + 0,387 y + 0,254 z = 863,97 + 12,95 - 51,28 = 825,64$$

$$II. 0,003 x + 0,009 y + 0,006 z = 16,74 - 0,348 = 16,392$$

$$III. 0,041 x + 0,218 y + 0,125 z + 68,00 + 31,78 - 9,9 = 0,032 x + 0,071 y + 0,242 z + 4,98 - 19,$$

или

$$0,009 x + 0,147 y + 103,9 = 0,117 z,$$

откуда

$$x = 244,7; y = 617,7; z = 1683.$$

Сыпь в колошу, на 5000 кг кокса, составит:

Минет кислой	3089 кг или	23,3%
„ основной	8415 „ „	63,4 „
Елливаре С	1224 „ „	9,2 „
Шлака сварочного	350 „ „	2,6 „
Марганцевой индийской	200 „ „	1,5 „

Всего руды и шлаков . . 13278 кг или 100,0%

Таблица 41 показывает, что состав чугуна и шлака строго удовлетворяют поставленным условиям; содержание Al₂O₃ в шлаке выше, чем нужно для получения малокремнистого чугуна, но оно ниже обычно допускаемого местной практикой.

V. Мартеновский чугун

14. Рассчитаем прежде всего шихту на мартеновский чугун, выплавляемый на коннелльсвилльском коксе из руд Верхнего озера (округа Мисаби, т. е. без прибавки руды Кайюна) в районе Питсбурга.

$$\begin{aligned} 1000 \cdot 0,973 &= 943 \text{ Fe,} \\ 1000 \cdot 0,008 &= 8 \text{ Si,} \quad \text{восстанавливающегося из} \\ 8 : 0,47 &= 17,02 \text{ SiO}_2 \\ 1000 \cdot 0,009 &= 9 \text{ Mn.} \end{aligned}$$
$$\text{SiO}_2 - 34.0\%, \text{Al}_2\text{O}_3 - 12.0\%, (\text{CaO} + \text{MgO}) - 47.5\%, \text{FeO} - 1.0\%, \\ \text{MnO} - 1.5\% \text{ и } \text{CaS} - 4.0\%.$$

Так как шихта более бедная, чем для бессемеровского чугуна в примере 10, то задаемся относительным весом шлака 0,6. Тогда на 1000 кокса в шлаке будем иметь:

$$\begin{aligned} 600 \cdot 0,34 &= 204 \text{ SiO}_2 \\ 600 \cdot 0,12 &= 72 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 600 \cdot 0,475 &= 285 (\text{CaO} + \text{MgO}) \\ 600 \cdot 0,01 &= 6 \text{ FeO (4,67 Fe)} \\ 600 \cdot 0,04 &= 24 \text{ CaS (18,67 CaO).} \end{aligned}$$

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
Мисаби, группы II (x) . . . %	3,4	1,6	0,3	0,2	55,0	0,40	0,05	0,03
III (y) . . . %	6,0	1,5	0,3	0,2	50,0	0,60	0,09	0,08
Берггарт (z) %	11,0	2,3	0,7	0,5	52,0	0,80	0,06	0,05
Мартеновский шлак %	19,0	3,0	36,0	11,0	14,0	7,20	1,50	0,15
Бессемеровские выбросы . . . %	18,0	—	—	—	55,0	—	0,05	—
Флюс (и) %	4,0	1,0	52,0	—	0,10	—	0,006	—
Кокс (1000 ч.) %	55,0	35,0	2,0	—	5,0	—	0,015	10,00

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
Шлак	19,0	3,0	36,0	11,0	14,00	7,2	1,50	0,15
Выбросы	12,0	—	—	—	36,68	—	0,03	—
Кокс	55,0	35,0	2,0	—	5,00	—	0,15	10,00

$$\begin{array}{l} \text{I. } 0,55 \ x + 0,50 \ y + 0,52 \ z + 0,001 \ u = 943 - 55,68 + 4,67 = 891,99 \\ \text{II. } 0,034 \ x + 0,06 \ y + 0,11 \ z + 0,04 \ u = 204 - 86 + 17,02 = 135,02 \\ \text{III. } 0,016 \ x + 0,015 \ y + 0,023 \ z + 0,01 \ u = 72 - 38 = 34 \\ \text{IV. } 0,005 \ x + 0,005 \ y + 0,012 \ z + 0,52 \ u = 285 - 49 + 18,67 = 254,67 \end{array}$$

Проверка расчета шихты
(Из руды)

Составные части шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес
244,7 Еливаре . . .	3,5	8,56	0,6	1,47	2,1	5,14	1,1	2,69	Из 13,48 Mn	Из 12,95 Fe
617,7 Минет кислой	15,7	96,98	6,1	37,68	5,6	34,59	1,5	9,27		
1683 Минет основн.	8,6	144,74	3,9	65,64	23,3	392,14	0,9	15,15		
70 Шлака сварочн. .	30,0	21,00	1,0	0,70	—	—	—	—		
40 Индийской марганцевой	7,5	3,00	2,70	1,08	0,75	0,30	0,45	0,18		
1000 Кокса	—	44,00	—	30,00	—	3,00	—	1,50		
Итого шихтой вно- сится	—	318,28	—	186,57	—	435,17	—	28,79	17,34	16,65
Вычет на чугун и шлак	—	9,90	—	—	—	19,00	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	308,38	—	186,57	—	416,17	—	28,79	17,34	16,65
Проп. шлака и чугуна " по завод- скому анализу	32,52	—	14,40	—	43,88	—	3,04	—	1,83	1,76
	32,52	—	14,40	—	45,88	—	3,04	—	1,83	1,76

Откуда:

$$x = 251,5; y = 1\,127; z = 364,8 \text{ и } u = 468.$$

Распределение составных частей шихты дано в таблице 42.

Колоша горючего в данном случае весит 15 500 англ. фунтов, поэтому сырь в колошу составит:

Руды: Мисаби II	3 898 ф. или	13,2%
" III	7 469 " "	59,0%
" Бернгарт	5 654 " "	19,1%
Шлака мартеновского	1 550 " "	5,3%
Выбросов бессемеровских	1 033 " "	3,4%

Всего сыпн . . 29 604 ф. или 100,0%

На 1 чугуна руды . . . 1,91 или 52,3% выход чугуна.

Флюса в колошу . . . 7 254 " 25% веса руды.

15. Рассчитаем теперь шихту на мартеновский чугун древесноугольной плавки, сырыми материалами для которой служат руды Бакальских месторождений и местные флюсы — доломит и известняк (первый более доступен и дешевле, второй прибавляется для получения шлака нормального состава).

на томасовский чугун
минет)

CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 10,857 S	—	65	159,06	0,1	0,24	0,3	0,734	0,01	0,024	Из 9,90 SiO ₂	—	—
	—	38,7	239,05	0,31	1,91	0,9	5,559	0,04	0,247		—	—
	—	25,4	427,53	0,27	4,54	0,6	10,098	0,03	0,505		—	—
	—	50	35,00	0,3	0,21	0,1	0,070	—	—		—	—
	—	8,2	3,28	50,2	20,08	0,07	0,028	0,02	0,008		—	—
	—	—	13,00	—	0,40	—	0,250	—	10,860		29,904	—
24,43	977,23	—	876,92	—	27,38	—	16,739	—	11,644	4,65	29,904	967,237
—	28,90	—	12,95	—	13,43	—	—	—	10,857	—	—	37,237
24,43	948,33	—	863,97	—	13,95	—	16,739	—	0,787	4,65	29,904	930,00
2,57	100,00	92,9	—	1,5	—	1,80	—	0,08	—	0,50	3,22	100,00
S _{1/2}	0,57	100,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Относительный вес шлака = $948,33 : 930 = 1,02$.

Задаемся нижеследующим процентным составом чугуна и шлака:

Si—0,6%; Mn—1,5%; C+P—4,6%; Fe—93,3%; S—нет;
 SiO₂—50%; Al₂O₃—10%; (CaO+MgO+MnO—37%; FeO—1%;
 щелочи и S—2%.

Расчет ведем на 1 т чугуна (на которую расходовалось около 5,5 м³ древесного угля при употреблении богатой руды, состав которой указан ниже), в котором находятся:

$1000 \cdot 0,933 = 933$ Fe,
 $1000 \cdot 0,015 = 15,0$ Mn,
 $1000 \cdot 0,006 = 6,0$ Si (соотв. 12,76 SiO₂).

Состав руд (собственнобакальской и Ельничной) в обожженном состоянии и флюсов дан ниже.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
	%	%	%	%	%	%	%	%
Бакальская (х)	10,0	1,6	0,4	0,3	56,0	2,0	0,015	0,01
Ельничная (у)	5,3	2,6	0,7	0,8	57,3	1,5	0,012	следы
Известняк (z)	0,7	0,4	52,0	2,0	—	—	0,016	—
Доломит (и)	0,9	0,8	30,0	20,8	—	—	—	—

Проверка расчета шихты
(Район)

Составные части шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO	FeO
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес
251,5 Мисаби II	3,4	8,55	1,6	4,02	0,3	0,76	0,2	0,50	Мп	Из 4,67 Fe
1127 Мисаби III	6,0	67,62	1,5	16,91	0,3	3,39	0,2	2,25		
364,8 Бернгарт	11,0	40,13	2,3	8,39	0,7	2,56	0,5	1,82		
100,0 Мартеновский шлак	19,0	19,00	3,0	3,00	36,0	36,00	11,0	11,00		
66,7 Выбросы бессемеровские	18,0	12,00	—	—	—	—	—	—	Из 7,00 Мп	Из 4,67 Fe
468 Известняка	4,0	18,72	1,0	4,68	52,0	243,36	—	—		
1000 Кокс	—	55,00	—	35,00	—	2,00	—	—		
Итого шихтой вносится	—	221,02	—	72,00	—	288,07	—	15,57	9,03	6,00
Вычет на чугун и шлак	—	17,02	—	—	—	18,67	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	204,00	—	72,00	—	269,40	—	15,57	9,03	6,00
Проц. состав шлака и чугуна	34,0	—	12,0	—	44,9	—	2,6	—	1,5	1,0
Проц. состав по заводск. анализу	34,0	—	12,0	—	48,01	—	2,6	—	1,5	1,0

Проверка шихты на мартеновский

Состав шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%
1485,2 Бакальской	10,0	148,52	1,6	23,76	0,4	5,94	0,3	4,46	Мп
180,76 Ельничной	5,3	9,58	2,6	4,70	0,7	1,27	0,8	1,45	
70,8 Известняка	0,7	0,50	0,4	0,28	52,0	36,82	2,8	1,40	
68,08 Доломита	0,9	0,61	0,8	0,55	30,0	20,42	20,0	14,16	
Итого шихтой вносится	—	159,21	—	29,29	—	64,45	—	21,47	22,48
Вычет на чугун и шлак	—	12,76	—	—	—	—	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	146,45	—	29,29	—	64,45	—	21,47	22,48
Проц. состав шлака и чугуна	50,0	—	10,0	—	22,0	—	7,33	—	7,67

CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 10,67 S	—	55,0	138,33	0,40	1,01	0,05	0,126	0,03	0,075	Из 17,02 SiO ₂	—	—
	—	50,0	563,50	0,60	6,76	0,09	1,014	0,08	0,902		—	—
	—	52,0	189,69	0,30	1,09	0,06	0,219	0,05	0,182		—	—
	—	14,0	14,00	7,2	7,20	1,50	1,500	0,15	0,150		—	—
	—	55,0	36,68	—	—	0,05	0,030	—	—		—	—
	—	0,1	0,47	—	—	0,006	0,028	—	—		—	—
—	—	—	5,00	—	—	—	0,015	—	10,000	—	—	—
24,00	635,69	—	947,67	—	16,06	—	2,932	—	11,309	8,00	36,369	1022,340
—	35,69	—	4,67	—	7,00	—	—	—	10,67	—	—	22,34
24,00	600,00	—	943,00	—	9,06	—	2,932	—	0,639	8,00	36,369	1000,00
4,0	100,0	94,30	—	0,906	—	0,293	—	0,064	—	0,80	3,637	100,00
S _{1/2}	100,0	Относительный вес шлака = 600 : 1000 = 0,6.										
0,89	100,0											

Таблица 43

чугун древесноугольной плавки

FeO	CaS и щелоч.	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 2,28 Fe	0,02-292,93	—	56,0	831,71	2,0	29,70	0,015	0,223	0,01	0,149	Из 12,76 SiO ₂	—	—
	—	—	57,3	103,57	1,5	2,71	0,012	0,021	—	—		—	—
	—	—	—	—	—	—	0,016	0,016	—	—		—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—
2,93	5,86	305,69	—	935,28	—	32,41	—	0,260	—	0,149	6,00	45,74	1019,839
—	—	12,76	—	2,28	—	17,41	—	—	—	0,149	—	—	19,839
2,93	5,86	292,93	—	933,00	—	15,00	—	0,260	—	0,0000	6,00	45,74	1000,00
1,00	2,00	100,00	93,30	—	1,50	—	0,026	—	—	—	0,60	4,574	100,00
Относительный вес шлака = 292,93 : 1100 = 0,29.													

Для определения количества каждого из этих материалов (на 1 т чугуна) составим 4 уравнения — по Fe, по отношению $\text{CaO}:\text{MgO}=3$ и по отношениям $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{SiO}_2:(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO})$.

- I. $0,56 x + 0,573 y = 933 + \frac{1}{10} (0,016 x + 0,026 y + 0,004 z + 0,008 u)^{7/9}$.
- II. $3 (0,003 x + 0,008 y + 0,02 z + 0,208 u) = 0,004 x + 0,007 y + 0,52 z + 0,30 u$.
- III. $50 [0,007 x + 0,015 y + 0,54 z + 0,508 u + \frac{71}{55} (0,02 x + 0,015 y - 15)] = 37 (0,10 x + 0,053 y + 0,007 z + 0,009 u - 6)$.
- IV. $10 (0,10 x + 0,053 y + 0,070 z + 0,009 u - 6) = 50 (0,016 x + 0,026 y + 0,004 z + 0,008 u)$.

Откуда:

$$x = 1485,2; y = 180,76; z = 70,8; u = 68,08.$$

Таким образом, сырьё в колошу на 1 т чугуна составит:

Бакальской	1485,2	кг	89%
Ельничной	180,76	"	11%
Всего руды	1665,96	кг	100%
На 1 кг чугуна руды	1,666	кг	60,02% выход чугуна
Известняка	70,8	"	4,25% веса руды
Доломита	68,08	"	4,08%
Всего флюса	138,88	кг или	8,33%

Проверка расчета дана в прилагаемой таблице 43.

Относительный вес шлака вышел только что достаточным (местная практика допускает 0,28). По содержанию SiO_2 и Al_2O_3 плавкость шлака определяется в 360 кал., но, вследствие замены $\frac{1}{4}$ CaO магнием и содержания MnO, шлак в действительности будет одним из наиболее легкоплавких. Текучесть его определяется 8 пузами при 1500° , но влияние магния и закисы марганца делает его гораздо менее вязким.

16. Последним примером рационального метода расчета шихты мы возьмем сравнительно редкий случай доменной практики — выплавку в малой печи Сулинского завода мартеновского чугуна на смешанном горючем: $\frac{1}{6}$ донецкого кокса и $\frac{5}{6}$ антрацита Шахтинского района.

Сырыми материалами этой плавки являлись местные бурые железняки (довольно убогие) и богатый криворожский красный железняк, а также сварочный шлак и кавказский пиролюзит (содержание Mn в бурых железняках недостаточно). Состав этих материалов, а также местного флюса и воды горючего — смеси антрацита с коксом — указан в прилагаемой таблице.

	SiO_2 %	Al_2O_3 %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %	P %	S %
Местный бурый железняк	24,65	7,10	1,70	0,30	36,7	1,27	0,73	0,13
Криворожская 1 сорта	3,0	1,0	—	—	66,0	0,04	0,02	—
Сварочный шлак	28,3	3,0	0,50	—	50,7	0,50	0,03	0,20
Кавказский пиролюзит	9,4	2,2	1,2	0,8	1,8	51,3	0,15	0,07
Известняк	1,9	0,3	53,6	1,2	—	—	—	—
Зола смешанного горючего	31,05	7,48	4,78	1,77	39,56	1,07	0,85	—

Заметим, что смешанное горючее содержит 1,67% S и только 5% золы (10% кокс, 4% антрацит), в составе которой заключается меньше Al_2O_3 , чем в золе кокса, вследствие чего шлаки, сопровождающие выплавленный на антраците чугун, менее глиноземисты, чем коксовые.

Процентный состав чугуна:

$$Si - 0,6\%, Mn - 2,0\%, (C + P + S) - 4,4\% \text{ и } Fe - 93\%.$$

Процентный состав шлака:

$$SiO_2 - 35\%, Al_2O_3 - 9\%, (CaO + MgO + MnO + CaS) - 55\%, FeO - 1\%.$$

При относительном расходе смешанного горючего 1,1 из колоши его в 3000 кг¹⁾ получается 2727,2 кг чугуна, в котором заключается:

$$\begin{aligned} 2727,2 \cdot 0,93 &= 2536,2 \text{ Fe,} \\ 2727,2 \cdot 0,02 &= 54,54 \text{ Mn,} \\ 2727,2 \cdot 0,006 &= 16,4 \text{ Si (соотв. } 34,8 \text{ SiO}_2\text{).} \end{aligned}$$

Сера горючего дает в шлак:

$$\begin{aligned} 0,0167 \cdot 3000 \cdot 72 : 32 &= 112,8 \text{ CaS,} \\ \text{требуя:} \\ 0,0167 \cdot 3000 \cdot 56 : 32 &= 87,7 \text{ CaO.} \end{aligned}$$

В шлак переходит столько же Mn, сколько его восстанавливается в чугун; в первом будет, следовательно:

$$54,5 \cdot 71 : 55 = 70,4 \text{ MnO.}$$

Местные бурые железняки поступают в колошу в определенном количестве, именно, 910 кг, точно так же, как и сварочный шлак, которого идет 450 кг. Вместе с золой горючего эти материалы вносят:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn
3000 кг горючего	46,6	11,2	7,2	2,6	59,4	1,6
910 " бурого железняка . .	224,2	64,6	15,4	—	33,4	11,6
450 " сварочного шлака . .	127,4	13,6	2,2	2,73	228,2	2,2
	398,2	89,4	24,8	5,33	321,0	15,4

Имея это в виду, мы для определения количеств: криворожской руды 1 сорта (x), кавказского пиролюзита (y) и флюса (z) можем составить 3 уравнения с 3 неизвестными: по железу и по отношениям — суммы $(RO + CaS) : SiO_2$ и $Al_2O_3 : SiO_2$ (не считая FeO в RO).

$$\begin{aligned} \text{I. } 0,66x + 0,018y + 321,0 &= 2536,2 + \frac{7}{9} (0,03x + 0,094y + \\ &+ 0,019z + 398,2 - 34,8) \frac{1}{35} \end{aligned}$$

¹⁾ Несмотря на малые размеры печи, объем такой колоши не велик, так как 1 м³ антрацита весит в 2 раза более, чем кокса.

²⁾ Закиси железа в шлаке $\frac{1}{85}$ количества SiO_2 в нем.

Поверка шихты на мартеновский

Состав шихты	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		MnO
	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес
910 кг местного бурого железняка	24,65	224,2	7,1	64,6	1,7	15,4	0,3	2,78	Из 54,6 Мп
2912,8 криворожской 1 сорт	3,0	87,4	1,0	29,2	—	—	—	—	
450 сварочного шлака	28,3	127,4	3,0	13,6	0,5	2,2	—	—	
180,6 марганцевой руды	9,4	17,0	2,2	4,0	1,2	2,2	0,8	1,45	
1168,4 известняка	1,9	22,2	0,3	3,6	53,6	626,2	1,2	14,02	
3000 смешанного горючего	—	46,6	—	11,2	—	7,2	—	2,60	
Итого шихтой вносится	—	524,8	—	126,2	—	653,2	—	20,8	70,4
Вычет на чугун и шлак	—	34,8	—	—	—	87,6	—	—	—
Остается в шлаке и чугуне	—	490,0	—	126,2	—	565,6	—	20,8	70,4
Проц. состав шлака и чугуна	35	—	9	—	40,42	—	1,49	—	5,08
Проц. состав по заводск. анализу	35	—	9	—	46,69	—	1,49	—	5,03

$$\text{II. } 9(0,03x + 0,094y + 0,019z + 398,2 - 34,8) = 35(0,01x + 0,022y + 0,003z + 89,4).$$

$$\text{III. } 55(0,03x + 0,094y + 0,019z + 398,2 - 34,8) = 35(0,02y + 0,548z + 24,8 + 5,33 + 70,4 + 112,8 - 87,7).$$

Откуда:

$$x = 2912,8; y = 180,6; z = 1168,4.$$

Поверка расчета дана в таблице 44.

Как видно из нее, несмотря на введение в шихту бедных бурых железняков в количестве 20% веса рудной сыпи, выход чугуна очень высок, именно:

$$4453,4 \cdot 100 : 2727,2 = 61,2\%,$$

причем, все же, отношение веса шлака к весу чугуна вышло весьма благоприятным для плавки, именно — равным половине. Оба эти фактора обеспечивают правильный и экономичный ход печи. Однако, в действительности, на Сулинском заводе приходилось отступать от того количества криворожской руды, которое только что определено расчетом, в сторону уменьшения, т. е. работать с большим относительным весом шлака и значительно меньшим выходом чугуна, так как в распоряжении доменного цеха была только одна богатая криворожская руда

чугун антрацитовый плавки

FeO	CaS	Всего	Fe		Mn		P		S		Si	C	Всего
Вес	Вес	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	%	Вес	Вес	Вес	Вес
Из 11,0 Fe	Из 50,1 S	—	36,7	334,0	1,27	11,6	0,73	6,64	0,13	1,18	Из 34,8 SiO ₂	—	—
—	—	—	66,0	1922,4	0,04	1,2	0,02	0,58	—	—		—	—
—	—	—	50,7	228,2	0,50	2,2	0,03	0,14	0,20	0,90		—	—
—	—	—	1,8	3,2	51,3	92,6	0,15	0,28	6,07	0,12		—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—
—	—	—	—	59,4	—	1,6	0,0425	1,28	1,67	50,10	—	108,88	—
14,2	112,8	1522,4	—	2547,2	—	109,2	—	8,92	—	52,30	16,4	108,88	2842,9
—	—	122,4	—	11,0	—	54,6	—	—	—	50,10	—	—	115,7
14,2	112,8	14,00	—	2536,2	—	54,6	—	8,92	—	2,2	16,4	108,88	2727,2
8,06	1,00	100,00	93	—	2	—	0,33	—	0,08	—	0,6	3,99	100,00
S _{1/2}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,79	1,00	100,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Относительный вес шлака = $1400 : 2727 = 0,51$.

(долголетний контракт) — рудника Ленина (бывш. Колачевского), представляющая измельченный железный блеск, очень неудобный для плавки и дающий громадный вынос.

УПРОЩЕННЫЕ ПРИЕМЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РАСЧЕТЕ ШИХТ

1. Стехиометрический прием расчета

Для определения количества флюса по степени кислотности шлака или, выражаясь точнее, по отношению кислорода кремнекислоты к сумме кислорода оснований в шлаке, мы возьмем, в качестве примеров, 4 случая, относящиеся к различным встречаемым в практике условиям работы древесноугольных домен.

1. Из обожженных бурых железяков среднего Урала — обжигавшихся ввиду бедности в сыром состоянии — выплавлялся обыкновенный передельный чугун, содержащий в себе 0,6% Si и 95% Fe. Состав рудного смешения и известняка-флюса указан ниже.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe
	%	%	%	%	%
Руда	22,0	0,5	0,6	0,4	50,0
Флюс	0,8	0,5	54,2	0,35	—

Содержание марганца в руде ничтожно и потому не играет роли в расчете. Пустая порода этих бурых железняков по своему химическому составу может быть названа обыкновенной, допускающей получение нормальных по составу шлаков передельного чугуна древесноугольной плавки и в достаточном количестве.

Ближайшей задачей нашего расчета является определение количества окислов, переходящего из руды и флюса в шлак; для разрешения ее сначала вычисляется количество кремнезема, затрачиваемое на восстановление кремния, а оно определяется по указанному выше содержанию Fe в руде и Si с Fe в чугуне.

Ведя расчет на 100 частей руды, находим количество SiO_2 , переходящее в шлак из руды:

$$0,60 \cdot \frac{50}{95} \cdot \frac{100}{47} = 0,68 \text{ SiO}_2; 22,00 - 0,68 = 21,32 \text{ SiO}_2.$$

Множитель $\frac{50}{95}$ выражает отношение весов железа в руде и чугуне, а $\frac{100}{47}$ — отношение веса кремнезема к количеству Si в нем.

Содержание кислорода в шлакуемых окислах (на 100 ч. руды) определяется так:

$$\begin{aligned} 21,32 \cdot 0,53 &= 11,30 \text{ кислорода в SiO}_2 \\ 5,0 \cdot 0,47 &= 2,35 \quad \text{„} \quad \text{„ Al}_2\text{O}_3 \\ 0,6 \cdot 0,285 &= 0,17 \quad \text{„} \quad \text{„ CaO} \\ 0,4 \cdot 0,4 &= 0,16 \quad \text{„} \quad \text{„ MgO} \end{aligned}$$

То же — в известняке (на 100 ч. его):

$$\begin{aligned} 0,8 \cdot 0,53 &= 0,424 \text{ кислорода в SiO}_2 \\ 0,5 \cdot 0,47 &= 0,235 \quad \text{„} \quad \text{„ Al}_2\text{O}_3 \\ 54,2 \cdot 0,285 &= 15,486 \quad \text{„} \quad \text{„ CaO} \\ 0,35 \cdot 0,4 &= 0,140 \quad \text{„} \quad \text{„ MgO} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} 0,8 \cdot 0,53 \\ 0,5 \cdot 0,47 \\ 54,2 \cdot 0,285 \\ 0,35 \cdot 0,4 \end{aligned}} \right\} 15,861$$

Сумма кислорода оснований (на 100 ч.) —

$$\begin{aligned} 2,35 + 0,17 + 0,16 &= 2,68 \text{ в руде и} \\ 0,235 + 15,486 + 0,140 &= 15,861 \text{ во флюсе.} \end{aligned}$$

Определяя, далее, отношение $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ для руды (исключая, конечно, восстанавливаемый кремнезем), находим:

$$21,32 : 5 = 4,26,$$

а при таком значении этого отношения, как видно из диаграммы (фиг. 3), нельзя получить самых легкоплавких шлаков, но могут быть получены достаточно легкоплавкие для получения серого передельного чугуна на древесном угле, если степень кислотности их лежит в пределах $1\frac{1}{4}$ —2.

Зададимся для начала степенью кислотности шлака равной 2; для

такого шлака в руде имеется избыток кислорода кислоты, требующий кислорода оснований в количестве:

$$11,3 : 2 - 2,68 = 2,97 \text{ на } 100 \text{ ч. руды.}$$

Во флюсе же имеется избыток кислорода оснований:

$$15,861 - (0,424 : 2) = 15,649 \text{ на } 100 \text{ ч. флюса.}$$

Очевидно, чтобы достигнуть требуемого соотношения между кислородом кислоты и оснований, нужно взять на 1 руды флюса:

$$2,97 : 15,649 = 0,18979 \text{ или } 18,979\% \text{ веса руды.}$$

Действительно, произведя поверку расчета, мы найдем сначала, что из вычисленного количества флюса и пустой породы руды, на 100 ч. последней перейдет в шлак:

$21,32 + 18,799 \cdot 0,008 = 21,472$	SiO_2 или 56,62%
$5 + 18,979 \cdot 0,005 = 5,095$	Al_2O_3 " 13,44 "
$0,6 + 18,979 \cdot 0,542 = 10,887$	CaO " 28,71 "
$0,4 + 18,979 \cdot 0,0035 = 0,466$	Mg " 1,23 "
Всего 37,920	100,00%

Отношение кислорода кислоты к кислороду оснований в шлаке удовлетворяет заданному, так как:

$$\left. \begin{array}{l} 56,62 \cdot 0,53 = 30,0 \\ 13,44 \cdot 0,47 = 6,3 \\ 28,71 \cdot 0,285 = 8,2 \\ 1,23 \cdot 0,4 = 0,5 \end{array} \right\} 15,0.$$

В таблицах Окермана случайно находится шлак совершенно такого же состава, как найденный нашим расчетом; теплота плавления его равна 367 кал. (по диаграмме, фиг. 2, — 370), но, как показывают те же таблицы и диаграмма, при отношении $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 4,26$ более основные, чем двукремнеземки, шлаки, требующие, следовательно, большего количества флюса, являются еще более легкоплавкими; с другой стороны, более кислые шлаки, хотя и более трудноплавки, вызывают меньший расход на флюс. Чтобы выяснить, какие же из них являются в данном случае наивыгоднейшими, произведем дальнейшие подсчеты, задаваясь степенями кислотности $1\frac{1}{2}$ и $2\frac{1}{2}$.

Расчет на $1\frac{1}{2}$ кремнеземик

$11,30 : 1,5 = 7,533$	
$7,533 - 2,68 = 4,853$	
$4,853 \cdot 100 : (15,861 - 0,424 : 1\frac{1}{2}) = 31,153$	
$21,32 + 31,153 \cdot 0,008 = 21,569$	SiO_2 или 48,23%
$5 + 31,153 \cdot 0,005 = 5,156$	Al_2O_3 " 11,53 "
$0,6 + 31,153 \cdot 0,542 = 17,485$	CaO " 39,10 "
$0,4 + 31,153 \cdot 0,0035 = 0,509$	MgO " 1,14 "
Всего 44,719	100,00%

Расчет на $2\frac{1}{2}$ кремнеземик

$11,30 : 2,5 = 4,52$	
$4,52 - 2,68 = 1,84$	
$1,84 \cdot 100 : (15,861 - 0,424 : 2\frac{1}{2}) = 11,726$	
$21,32 + 11,726 \cdot 0,008 = 21,414$	SiO_2 или 63,23%
$5 + 11,726 \cdot 0,005 = 5,059$	Al_2O_3 " 14,94 "
$0,6 + 11,726 \cdot 0,542 = 6,955$	CaO " 20,53 "
$0,4 + 11,726 \cdot 0,0035 = 0,441$	MgO " 1,30 "
Всего 33,869	100,00%

Содержание кислорода в шлакующих окислах удовлетворяет заданию, как показывает нижеследующая проверка.

Шлак $1\frac{1}{2}$ кремнеземик	Шлак $2\frac{1}{2}$ кремнеземик
$\text{SiO}_2 \dots 48,23 \cdot 0,53 = 25,56$	$63,23 \cdot 0,53 = 33,51$
$\text{Al}_2\text{O}_3 \dots 11,53 \cdot 0,47 = 5,42$	$14,94 \cdot 0,47 = 7,02$
$\text{CaO} \dots 39,10 \cdot 0,285 = 11,17$	$20,53 \cdot 0,285 = 5,86$
$\text{MgO} \dots 1,14 \cdot 0,4 = 0,45$	$1,3 \cdot 0,4 = 0,52$
$25,56 : (5,42 + 11,17 + 0,45) = 1,5$	$33,51 : (7,02 + 5,86 + 0,52) = 2,5$

Теплота плавления этих шлаков по диаграмме Гау-Бабю:

357 кал.

400 кал.

Так как выход чугуна из 100 ч. руды равен:

$$50 \cdot 100 : 95 = 52,63\%$$

то количество шлака на 1 чугуна для всех трех случаев шихтовки будет:

$33,869 : 52,63 = 0,645$	— шлак $2\frac{1}{2}$ кремнеземик
$37,920 : 52,63 = 0,724$	" 2 "
$44,719 : 52,63 = 0,857$	" $1\frac{1}{2}$ "

Количество потребного флюса на 1 чугуна:

$11,726 : 52,63 = 0,222$	— шлак $2\frac{1}{2}$ кремнеземик
$18,979 : 52,63 = 0,361$	" 2 "
$31,158 : 52,63 = 0,592$	" $1\frac{1}{2}$ "

Затрата тепла на расплавление шлака, отнесенная к 1 чугуна:

$0,645 \cdot 400 = 258$	кал. — шлак $2\frac{1}{2}$ кремнеземик
$0,724 \cdot 367 = 266$	" " 2 "
$0,857 \cdot 357 = 306$	" " $1\frac{1}{2}$ "

Сравнивая полученные числа, мы видим, что образование наиболее легкоплавкого шлака не только требует наибольшего количества флюса, но и влечет за собой наибольшую потерю тепла; наименьшая затрата тепла на расплавление $2\frac{1}{2}$ кремнеземика сопряжена с получением хотя и легкоплавкого, но густого шлака, вследствие высокого содержания Al_2O_3 при предельном почти содержании SiO_2 (сумма $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ в нем около 78%). На диаграмме Мак-Кефери нет места для такого шлака.

С другой стороны, двукремнеземик требует тепла на расплавление лишь немногим более, чем $2\frac{1}{2}$ кремнеземик, получается в достаточном количестве, а следовательно, — удовлетворял бы всем требованиям, если бы был достаточно текуч. По диаграмме Мак-Кефери вязкость его 35 пуазов при 1500° , т. е. очень значительна, что известно и из практики: этот шлак очень близок по составу к легкоплавкому шлаку Бодемана ($56\% \text{SiO}_2 + 14\% \text{Al}_2\text{O}_3$), неудобному своей густотой. Остается выбрать $1\frac{1}{2}$ кремнеземик, вязкость которого — 8.

2. Вторым примером стехиометрического расчета мы возьмем случай шихтовки глинистых сидеритов Кировской области, предполагая выплавку из них литейного чугуна с $20\% \text{Si}$ и $93\% \text{Fe}$.

Состав рудного смешения и местного флюса-известняка указан ниже.

	SiO_2 %	Al_2O_3 %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %
Руда	23,9	7,5	2,8	2,6	39,6	1,76
Флюс	3,0	2,0	52,2	—	—	—

Характерной особенностью упомянутых руд является их бедность и, сравнительно, высокое содержание Al_2O_3 в пустой породе, что облегчает получение кремнистого литейного чугуна ¹⁾ на древесном угле даже при невысоком нагреве дутья и, наоборот, затрудняет выплавку хорошего перепельного чугуна (аналогия с кливлендскими условиями).

Отношение $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ в рудном смешении — в среднем, около 3 — дает возможность менять кислотность шлака в пределах от 1 до $1\frac{1}{2}$. Однако, ввиду бедности руды, значительного количества требующегося флюса и получаемого шлака, более выгодными в экономическом отношении являются более кислые шлаки; более кремнистые из них — хотя и достаточно легкоплавки — лишены, как показал опыт, надлежащей текучести в расплавленном состоянии (сумма $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ более 70), загромождают горн и образуют значительные настыли на заплечиках. Поэтому мы зададимся в своем расчете степенями кислотности — $1\frac{1}{2}$ и $1\frac{2}{3}$.

Подобно тому, как в первом примере, определяем сначала количество кремнезема, переходящее из 100 ч. руды в шлак.

$$23,9 - 2 \cdot \frac{39,6}{93} \cdot \frac{100}{47} = 23,9 - 1,81 = 22,09.$$

Кислорода в шлакующихся окислах на 100 ч. руды находится:

$$\left. \begin{array}{l} 22,09 \cdot 0,53 = 11,708 \text{ в } \text{SiO}_2 \\ 7,5 \cdot 0,47 = 3,525 \text{ „ } \text{Al}_2\text{O}_3 \\ 2,8 \cdot 0,285 = 0,800 \text{ „ } \text{CaO} \\ 2,6 \cdot 0,4 = 1,040 \text{ „ } \text{MgO} \end{array} \right\} 5,365.$$

Избыток кислорода кремнекислоты требует (на 100 ч. руды) кислорода оснований:

$$\begin{array}{l} 11,708 - \frac{3}{2} \cdot 5,365 = 3,660 \text{ — шлак } 1\frac{1}{2} \text{ кремнеземик} \\ 11,708 - \frac{5}{3} \cdot 5,365 = 2,766 \text{ — „ } 1\frac{2}{3} \text{ „} \end{array}$$

¹⁾ Древесноугольный уральский литейный чугун, выплавляемый из богатых руд, обыкновенно мало кремнист и делается мягким за счет высокого содержания углерода.

Кислорода в шлакующихся окислах флюса (на 100 ч. его) заключается:

$$\left. \begin{array}{l} 3,0 \cdot 0,53 = 1,59 \\ 2,0 \cdot 0,47 = 0,94 \\ 52,2 \cdot 0,285 = 14,914 \end{array} \right\} 15,854.$$

Избыток кислорода оснований флюса:

$$\begin{array}{l} 15,854 - \frac{2}{3} \cdot 1,59 = 14,794 \text{ — шлак } 1\frac{1}{2} \text{ кремнеземик} \\ 15,854 - \frac{3}{5} \cdot 1,59 = 14,900 \text{ " } 1\frac{2}{3} \text{ " } \end{array}$$

Отсюда потребность в флюсе (в процентах веса руды):

$$\begin{array}{l} \frac{2}{3} \cdot 3,660 \cdot 100 : 14,794 = 16,493 \text{ — шлак } 1\frac{1}{2} \text{ кремнеземик} \\ \frac{3}{5} \cdot 2,766 \cdot 100 : 14,900 = 11,138 \text{ " } 1\frac{2}{3} \text{ " } \end{array}$$

Количество и состав шлака:

1 $\frac{1}{2}$ кремнеземик		1 $\frac{2}{3}$ кремнеземик	
SiO ₂ · 22,585 или 50,84 ⁰ / ₀ и 49,57 ⁰ / ₀		22,424 или 54,22 ⁰ / ₀ и 52,77 ⁰ / ₀	
Al ₂ O ₃ · 7,830 " 17,63 ⁰ / ₀ " 17,19 ⁰ / ₀		7,723 " 18,67 ⁰ / ₀ " 18,17 ⁰ / ₀	
CaO · 11,409 " 25,68 ⁰ / ₀ " 25,04 ⁰ / ₀		8,614 " 20,83 ⁰ / ₀ " 20,27 ⁰ / ₀	
MgO · 2,600 " 5,85 ⁰ / ₀ " 5,71 ⁰ / ₀		2,600 " 6,28 ⁰ / ₀ " 6,12 ⁰ / ₀	
44,424 или 100,00 ⁰ / ₀ и 97,51 ⁰ / ₀		41,361 или 100,00 ⁰ / ₀ и 97,33 ⁰ / ₀	
MnO · 1,136 ¹⁾ " — " 2,49 ⁰ / ₀		1,136 ¹⁾ " — " 2,67 ⁰ / ₀	
Всего · 45,560 100,00 ⁰ / ₀		42,497 100,00 ⁰ / ₀	

Степень кислотности (по проверке):

$$1,50 \quad | \quad 1,667.$$

Количество тепла, потребное для расплавления шлака:

$$380 \text{ кал.} \quad | \quad 390 \text{ кал.}$$

Температура плавления:

$$1300^{\circ} \quad | \quad 1300^{\circ}$$

Вязкость (при 1500°):

$$15 \text{ пуазов} \quad | \quad 35 \text{ пуазов}$$

При выходе чугуна из 100 руды —

$$39,6 \cdot 100 : 93 = 42,6 \text{ —}$$

расходуется флюса на 1 чугуна:

$$16,493 : 42,6 = 0,387 \quad | \quad 11,138 : 42,6 = 0,261$$

и получается шлака:

$$45,560 : 42,6 = 1,070' \quad | \quad 42,497 : 42,6 = 0,998.$$

¹⁾ 1,136 = 0,5 · 1,76 $\frac{71}{55}$.

Значит, расплавление шлака на 1 чугуна требует:

$$1,070 \cdot 380 = 407 \text{ кал.} \quad | \quad 0,998 \cdot 390 = 389 \text{ кал.}$$

По поводу произведенного расчета нужно заметить, что содержание Mn в руде не принимается нами во внимание при определении количества флюса и, чтобы установить теплоту плавления шлака по диаграмме, мы вывели его процентный состав без MnO , но, чтобы приблизиться к составу действительно получаемых при данных условиях шлаков и точнее определить вес их, мы пересчитали процентный состав шлаков и определили вес их в предположении, что половина всего количества Mn окажется невостановленной.

Результат расчета, как и следовало ожидать, показал, что по теплоте плавления $1^{2/3}$ кремнеземик более соответствует горячему ходу на древесном угле, чем $1^{1/2}$ кремнеземик; химический состав первого тоже более благоприятствует получению кремнистого чугуна (меньше сумма RO); наконец, и по расходу флюса и тепла $1^{2/3}$ кремнеземик оказывается более выгодным, чем более основной шлак, но, с другой стороны, сумма $SiO_2 + Al_2O_3$ в первом достигает предельной величины, вязкость по Мак-Кефери — 35 пуазов, что создает уже практические затруднения для правильной работы печи, поэтому $1^{1/2}$ кремнеземик и в этом случае будет более удобным в работе.

Укажем далее, что расход тепла на плавление всего количества получаемого шлака в этом случае весьма значителен, но в действительности он бывает еще больше, так как выход чугуна из руды спускается до 38%.

Отметим наконец, что в этом случае, вследствие бедности руды, расходы на известняк существенно уменьшаются даже при незначительном увеличении степени кислотности шлака (переход от $1^{1/2}$ к $1^{2/3}$ кремнеземику), и сбережение флюса при работе на более кислых шлаках может иметь хозяйственное значение. Вот почему в действительности при наличии подобных обстоятельств устанавливали наименьший возможный расход флюса практически, соображаясь со степенью текучести шлака, прибегая к более основному и жидкому шлаку лишь временно, для растворения настывшей¹⁾.

3. Возьмем теперь примером расчета условия прямо противоположные предыдущим, а именно, — встречавшиеся прежде при шихтовке богатых бурых железняков Бакальских месторождений, из которых добывается руда для выплавки превосходного перелитного чугуна на южно-уральских заводах²⁾.

Рудное смешение, в состав которого, кроме собственно-бакальской руды, прежде всегда входило и некоторое количество ельничной (шлакатый железняк в обожженном состоянии), позволяет установить отношение $SiO_2 : Al_2O_3$ около 5, а при таком значении этого отношения степень кислотности шлаков может меняться в пределах $1^{1/4}$ —2, при-

¹⁾ Завод, по данным которого был сделан расчет шихты, долгое время находился на консервации, но недавно возобновил работу на рудах такого состава. какой был принят в расчете шихты.

²⁾ Проплавленная в настоящее время руда гораздо беднее прежней.

чем они все же остаются достаточно легкоплавкими. Однако для богатых руд наиболее кислый шлак часто не является самым выгодным, так как, благодаря незначительному расходу флюса, кислого шлака получается очень мало — меньше того, что требуется для ровного хода печи. Ввиду этого мы попробуем рассчитать количество флюса на шлаки $1\frac{1}{2}$ и $1\frac{2}{3}$ кремнеземки, предполагая выплавку мартеновского чугуна с 0,60% Si и 93% Fe.

Состав рудного смешения (меняющийся в зависимости от размеров эксплуатации ельничной руды, бывших незначительными) и флюса (смеси доломита с известняком) дан ниже.

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %
Руда	9,51	1,71	0,43	0,36	56,27	1,95
Флюс	0,80	0,60	41,21	11,21	—	—

Количество ошлаковываемого кремнезема (на 100 руды) получается следующее:

$$9,51 - 0,6 \frac{56,27}{93} \cdot \frac{100}{47} = 9,51 - 0,77 = 8,74.$$

Кислорода во флюсующихся окислах руды и флюса заключается (на 100 ч. того и другого):

Руда			Флюс		
SiO ₂ . . .	8,74 · 0,53	= 4,632	0,8 · 0,53	= 0,424	
Al ₂ O ₃ . . .	1,71 · 0,47	= 0,804	0,6 · 0,47	= 0,282	
CaO . . .	0,43 · 0,285	= 0,123	41,21 · 0,285	= 11,774	} 16,540
MgO . . .	0,36 · 0,4	= 0,144	11,21 · 0,4	= 4,484	

Избыток кислорода кислоты в руде и оснований во флюсе:

$1\frac{1}{2}$ кремн.	4,632 — $\frac{3}{2} \cdot 1,071$	= 3,025	16,54 — $\frac{2}{3} \cdot 0,424$	= 16,257
$1\frac{2}{3}$ кремн.	4,632 — $\frac{5}{3} \cdot 1,071$	= 2,847	16,54 — $\frac{3}{5} \cdot 0,424$	= 16,286

Потребность во флюсе при шихтовке на:

$1\frac{1}{2}$ кремнеземик	$1\frac{2}{3}$ кремнеземик
$\frac{2}{3} \cdot 3,025 : 0,16257$	$\frac{3}{5} \cdot 2,847 : 0,16286$

Вес и состав шлаков:

SiO ₂ 8,839 или 49,33% и 46,10%	8,824 или 52,29% и 48,66%
Al ₂ O ₃ 1,784 " 9,96% " 9,30%	1,763 " 10,44% " 9,72%
CaO 5,542 " 30,93% " 28,90%	4,753 " 28,16% " 26,21%
MgO 1,751 " 9,78% " 9,13%	1,536 " 9,11% " 8,47%
17,916 или 100,00% и 93,43%	16,876 или 100,00% и 93,06%
MnO 1,259 — 6,57%	1,259 — 6,94%
Всего 19,175 100,00%	18,135 100,00%

Степень кислотности, при проверке, оказывается точно отвечающей заданной.

Теплота плавления шлаков:

360 кал.		355 кал.
----------	--	----------

Температура плавления:

1425°		1400°
-------	--	-------

Вязкость (при 1500°):

7 ¹ / ₂ пуазов		10 пуазов
--------------------------------------	--	-----------

При выходе чугуна из 100 руды—

$$56,27 \cdot 100 : 93 = 60,5$$

расход флюса на 1 чугуна:

$12,405 : 60,5 = 0,205$		$10,489 : 60,5 = 0,173,$
-------------------------	--	--------------------------

а количество шлака:

$19,175 : 60,5 = 0,3169$		$18,135 : 60,5 = 0,2997.$
--------------------------	--	---------------------------

Таким образом расплавление шлака требует на 1 чугуна:

$0,3169 : 360 = 114 \text{ кал.}$		$0,2997 \cdot 355 = 106 \text{ кал.}$
-----------------------------------	--	---------------------------------------

12¹/₈ кремнеземик вышенайденного состава—самый легкоплавкий из всех шлаков, которые только могут быть получены при отношении $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 5$, и так как его получается достаточное количество (в местной практике довольствовались отношением шлака к чугуну 0,28), то он является в данном случае наиболее подходящим, так как и вязкость его вполне подходящая.

Заметим, что присутствие 8¹/₂% MgO заметно понижает теплоту плавления, как и вязкость шлака; это делает потерю тепла на плавление пустой породы руды—весьма незначительную и по расчету—еще меньшей в действительности.

Отметим также незначительный расход флюса и небольшую разницу в потреблении его при той и другой степени кислотности шлака—результат как богатства руды, так и состава ее пустой породы. Последняя, при условии работы на горячем дутье, представляется самоплавкой, тем не менее рекомендовать работать на кислых шлаках без флюса нельзя: шлак, получающийся из одной пустой породы, более трудноплавок, чем нужен для хода на передельный чугун; он в значительной мере лишен подвижности и, наконец, получается в недостаточном количестве, меняя резко свой состав в зависимости от колебаний состава пустой породы руды,—все это затрудняет правильный и ровный ход печи; между тем достигаемая экономия в расходах на флюс—незначительна.

4. Дальнейшим примером расчета количества флюса по заданному отношению кислорода кислоты к кислороду оснований в шлаке мы выберем случай плавки на древесном угле шведских магнитных железняков на передельный чугун.

Пустая порода этих руд—часто магнезиально-известковая—содер-

жит незначительное количество Al_2O_3 , поэтому шведские шлаки при низком содержании Al_2O_3 отличаются высокими степенями кислотности: 2 — $2\frac{1}{2}$ и даже 3. Затем, часто в шведских рудах находится кроме SiO_2 другой кислотный окисел — TiO_2 , в единице которого заключается 0,4 кислорода.

Впрочем, богатые руды крайнего севера, в последнее время как примесь проплавляющиеся и на заводах Швеции, относительно более глиноземисты, чем бедные руды старых месторождений; сверх того, они часто заключают в себе избыток оснований (для плавки на древесном угле) и потому требуют кремнистого флюса.

Для нашего расчета мы возьмем богатую руду Елливаре, а флюсом для нее — сварочный шлак. Состав этих материалов указан ниже.

	SiO_2 %	TiO_2 %	Al_2O_3 %	CaO %	MgO %	Fe %
Руда	3,48	0,17	0,6	2,1	1,0	66
Шлак	31,0	—	1,1	0,5	—	50

Предполагая, что чугун содержит $0,3\%$ Si и 95% Fe, зададимся степенями кислотности 2 и $1\frac{1}{2}$, т. е. более низкими, чем обычные в Швеции, ввиду того, что в данном случае флюс кислый и шлаку получается тем меньше, чем он основнее.

Заметив, что для восстановления $0,3\%$ Si в чугун затрачивается SiO_2 из руды 0,443 и из шлака 0,336 на 100 ч. каждого, найдем содержание кислорода во флюсующихся окислах:

Руда			Сварочный шлак		
SiO_2 . .	$3,037 \cdot 0,53 =$	1,610	$30,664 \cdot 0,53 =$	16,242	
TiO_2 . .	$0,170 \cdot 0,4 =$	0,068	—	—	16,242
Al_2O_3 . .	$0,6 \cdot 0,47 =$	0,282	$1 \cdot 0,47 =$	0,470	
CaO . .	$2,1 \cdot 0,285 =$	0,600	$0,5 \cdot 0,285 =$	0,143	0,613
MgO . .	$1,0 \cdot 0,4 =$	0,400			

Избыток кислорода оснований в руде и кислоты в сварочном шлаке:

$1\frac{1}{2}$ кремнез.	$1,282 - \frac{2}{3} \cdot 1,678 =$	0,163	$16,242 - \frac{3}{2} \cdot 0,613 =$	15,322
2 „	$1,282 - \frac{1}{2} \cdot 1,678 =$	0,443	$16,242 - 2 \cdot 0,613 =$	15,016

На 100 частей руды требуется сварочного шлака:

$1\frac{1}{2}$ кремнеземик	2 кремнеземик
$\frac{3}{2} \cdot 0,163 : 0,15322 =$	$2 \cdot 0,443 : 0,15016 =$
1,595	5,900

Количество переходящих в шлак окислов и содержание кислорода в них:

SiO_2	3,526 или $47,52\%$ и $25,19\%$ O_2	4,846 или $55,04\%$ и $29,17\%$ O_2
TiO_2	0,170 „ $2,29\%$ „ $0,92\%$	0,170 „ $1,93\%$ „ $0,77\%$
Al_2O_3	0,616 „ $8,30\%$ „ $3,90\%$	0,659 „ $7,48\%$ „ $3,52\%$
CaO	2,108 „ $28,41\%$ „ $8,12\%$	2,130 „ $24,19\%$ „ $6,91\%$
MgO	1,000 „ $13,48\%$ „ $5,39\%$	1,000 „ $11,36\%$ „ $4,54\%$
	7,420 или $100,00\%$	8,805 или $100,00\%$

Проверка отношений кислорода кислот и оснований:

$$(25,19 + 0,92) : (3,90 + 8,12 + 5,39) = 1,5$$

$$(29,17 + 0,77) : (3,52 + 6,91 + 4,54) = 2,0$$

Теплота плавления шлаков:

370 кал.

350 кал.

Температура плавления:

1450°

1450°

Вязкость (при 1500°):

7 пуазов

20 пуазов.

Выход чугуна на 100 ч. руды:

$$(66 + 0,01595 \cdot 50) : 0,95 = 70,3$$

$$(66 + 0,059 \cdot 50) : 0,95 = 72,6$$

На 1 чугуна получается шлака той и другой степеней кислотности:

$$7,42 : 0,703 = 10,56\%$$

$$8,805 : 0,726 = 12,12\%$$

Расходуется тепла для расплавления шлака на 1 чугуна:

$$0,1056 \cdot 370 = 39,1 \text{ кал.}$$

$$0,1212 \cdot 350 = 42,4 \text{ кал.}$$

Разница в расходе тепла ничтожна и не может служить основанием для выбора степени кислотности шлака. Важнее разница в теплоте плавления шлаков: 2 кремнеземик принадлежит к самым легкоплавким шлакам и вполне подходит к производству передельного чугуна с наименьшим содержанием кремния; теплота плавления $1\frac{1}{2}$ кремнеземика соответствует более горячему ходу; вязкость его не велика.

Благодаря богатству руды и содержанию 50% Fe во флюсе, выход чугуна очень высок, а количество образующегося шлака — ничтожно; оно далеко недостаточно для правильной работы печи и рассчитанная нами шихта может проплавляться лишь как примесь к более бедным шихтам для увеличения суточной производительности печи и уменьшения расхода горючего, как это в действительности и делается.

II. Расчет по отношению $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO}$

Б. Для расчета шихты по способу Пляца в случае древесно-угольной плавки возьмем, как пример, определение количества сварочного шлака, как кремнистого флюса, для глиноземистой пустой породы высокогорского магнитного железняка при выплавке передельного чугуна.

Состав руды и сварочного шлака указан ниже.

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	Fe	Мп восстан.
	%	%	%	%	%	%	%
Руда	4,45	2,26	2,02	0,82	0,81	62,10	0,62
Сварочный шлак	28,18	1,47	0,59	0,04	0,94	52,80	0,72
							1,35

Предполагая, что в чугунах содержится 0,6% Si и 94% Fe, определяем количество ошлаковываемого кремнезема руды и флюса:

$$4,45 - 0,6 \frac{62,1}{94} \cdot \frac{100}{47} = 3,607 \text{ из руды}$$

и

$$28,18 - 0,6 \frac{52,80}{94} \cdot \frac{100}{47} = 27,463 \text{ из шлака.}$$

Отношение $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO} = 63 : 37$, — вообще дающее легкоплавкие и достаточно текучие шлаки как для глиноземистых, так и для кремнистых шихт, вполне применимо и в данном частном случае.

Пользуясь им и считая, что в среднем восстанавливается лишь половина всего марганца шихты (а указанное выше количество MnO переходит в шлак), определим, что руда включает в себе избыток RO:

$$2,02 + 0,82 + 0,81 - (3,607 + 2,26) \cdot \frac{37}{63} = 0,204,$$

а сварочный шлак — избыток $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$:

$$27,463 + 1,47 - (0,59 + 0,04 + 0,94) \cdot \frac{63}{37} = 26,26.$$

Руда требует:

$$0,204 \cdot \frac{63}{37} = 0,347 (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3).$$

Следовательно, нужно взять сварочного шлака:

$$0,347 \cdot 100 : 26,26 = 1,323 \text{ на } 100 \text{ ч. руды.}$$

Действительно, в шлак в таком случае перейдет:

$3,607 + 0,01323 \cdot 27,463 = 3,970$	SiO_2	или	40,00%
$2,26 + 0,01323 \cdot 1,47 = 2,279$	Al_2O_3	"	23,00%
$2,02 + 0,01323 \cdot 0,59 = 2,028$	CaO	"	20,40%
$0,82 + 0,01323 \cdot 0,04 = 0,821$	MgO	"	8,30%
$0,81 + 0,01323 \cdot 0,94 = 0,822$	MnO	"	8,30%
9,920			100,00%

$$(3,97 + 2,279) : (2,028 + 0,821 + 0,822) = 1,7 \text{ (т. е. } 63 : 37).$$

Температура плавления такого шлака (не считая влияния MnO) 1350° и по диаграмме Гау-Бабу он требует 390 кал. на расплавление, но, так как значительная часть окислов RO в нем заменена магнием и MnO, — в действительности он гораздо легкоплавче и, во всяком случае, подходит для условий производства древесноугольного передельного чугуна; вязкость его тоже удовлетворительна (12 пуазов при 1500°) и, конечно, снижается присутствием MgO и MnO.

Заметим, что определенное расчетом количество сварочного шлака (1,323% от веса руды) настолько незначительно, что не может явиться сомнения в достаточной полноте восстановления из него Fe и Mn. Сомнение может возбудить лишь то обстоятельство, что при малом потреблении флюса, содержащего 52,8% Fe, выход чугуна из шихты очень высок, а количество получаемого шлака на единицу чугуна незначительно и меньше допускаемой практикой нормы.

В самом деле, руда и флюс дают:

$$62,1 + 0,01323 \cdot 52,8 = 62,8\% \text{ Fe и}$$

$$62,8 : 0,94 = 66,8\% \text{ чугуна,}$$

так что на 1 чугуна в этом случае приходится:

$$9,92 : 66,8 = 0,1485 \text{ шлака.}$$

Таких значительных выходов чугуна, как выведенный нами, в действительности и при работе на древесном угле не имели; переplавляя с богатой высокогорской рудой и более бедный подрудок, достигали отношения веса шлака к весу чугуна 0,25.

6. Шведские руды, с их обычно высоким отношением кремнезема к глинозему, являются прямою противоположностью уральским, но и для них расчет можно вести по отношению $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO} = 63 : 37$, как увидим из нижеследующего примера.

Берем анализы рудного смешения (смеси 4 сортов руды) и флюса из учебника металлургии проф. Удельщерна¹⁾, где они служат для расчета по стехиометрическим отношениям:

	SiO_2 %	Al_2O_3 %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %
Рудное смешение	11,87	0,46	3,75	2,17	51,33	0,40
Флюс	6,65	0,63	49,92	1,69	—	—

Положим, что плавка ведется на передельный чугун, содержащий всего 0,3% Si и 95% Fe. В таком случае на восстановление Si расходуется

$$0,3 \frac{51,33}{95} \cdot 100 : 47 = 0,345 \text{ SiO}_2$$

и переходит в шлак $11,87 - 0,345 = 11,525 \text{ SiO}_2$.

Отношение между количествами SiO_2 и Al_2O_3 , переходящими в шлак, $11,525 : 0,46 = 25$; пересечение ординаты $\text{CaO} = 37$ с линией отношения 25 на диагр. фиг. 4 показывает, что возможно получить весьма легкоплавкий шлак с теплотой плавления между 350—360 кал.

Задаваясь отношением $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO} = 63 : 37$, найдем, что руда содержит избыток $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$:

$$11,525 + 0,46 - (3,75 + 2,17) 63 : 37 = 1,904\%$$

и, значит, требует RO:

$$1,904 \cdot 37 : 63 = 1,118\%.$$

Флюс содержит избыток RO:

$$49,92 + 1,69 - (6,65 + 0,63) 37 : 63 = 47,334\%.$$

Следовательно, нужно взять

$$1,118 : 0,4733 = 2,362\% \text{ флюса.}$$

¹⁾ E. G. Odelstierna, Järnets Metallurgi, Stockholm, 1913, стр. 362.

В таком случае в шлак перейдет:

$$\begin{array}{rcl}
 11,525 + 2,362 \cdot 0,0665 = 11,682 & \text{или} & 60,54\% \text{ SiO}_2 \\
 0,46 + 2,362 \cdot 0,0063 = 0,475 & & 2,46\% \text{ Al}_2\text{O}_3 \\
 3,75 + 2,362 \cdot 0,4992 = 4,929 & & 25,54\% \text{ CaO} \\
 2,17 + 2,362 \cdot 0,0169 = 2,210 & & 11,46\% \text{ MgO}
 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 11,525 \\ 0,46 \\ 3,75 \\ 2,17 \end{array}} \right\} \begin{array}{l} 63\% \\ \\ \\ 37\% \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 & & 19,296 \quad , \quad 100,00\%
 \end{array}$$

Теплота плавления шлака всего 355 кал., вязкость около 25 пуазов, но шведы показали, что и с ней работать можно (присутствие 11,46% MgO).
Относительное количество шлака

$$0,19296 \cdot 95 : 51,33 = 0,361,$$

т. е. достаточное для правильной работы печи.

7. Переходя к условиям плавки на коксе, возьмем случай составления шихты на литейный чугун, взятый в примере 1, но, предполагая содержание серы в коксе 1,2% (вместо 2%); это позволит иметь шлак с малой концентрацией CaS и менее основной, именно, с нормальным отношением $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO} = 1$, при нормальном же для литейного чугуна отношении $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 2$. Как видно из таблицы 29, в шлак из руды и кокса в этом случае переходят:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	CaS
Из 1512,9 руды	172,53	68,45	13,72	6,44	—	—
и 1000 кокса	43,00	22,50	6,00	1,40	из 2,42 Mn	из 10,57 S
	214,53	90,95	19,72	7,84	3,13	23,78
Вычет на чугун и шлак	35,47	—	18,50	—	—	—
	179,06	90,95	1,22	7,84	3,13	23,78

Руды и кокс дают всего 13,34 S, из которых 2,60 (т. е. 20%) предположено улетучивающейся, 0,17 — переходит в чугун, а 10,57 — в шлак, давая 23,78 CaS и требуя 18,5 CaO.

Флюс, при расчете по способу Пляца, имеет избыток RO:

$$53,15 - (1,5 + 0,5) = 51,15\%.$$

оэтому его нужно взять

$$(179,06 + 90,95 - 9,06) : 0,5115 = 260,95 : 0,5115 = 512.$$

С составными частями этого количества флюса в шлак перейдет:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	CaS	Итого
Из руды и кокса	179,06	90,95	1,22	7,84	3,13	23,78	—
„ флюса	7,68	2,56	267,26	4,93	—	—	—
	186,74	93,51	268,48	12,77	3,13	23,78	588,41
Проценти. состав шлака .	31,85	15,86	45,54	2,17	0,53	4,05	100,00

Шлак такого состава более пригоден для получения литейного чугуна, чем раньше рассчитанный — отношение $\text{RO} : \text{SiO}_2$ понизилось до 1,5, — но он допустим лишь при меньшем количестве серы в коксе, чем обыкновенно бывает в донецком. Что касается чугуна, то, он, очевидно,

получается в таком же количестве и того же состава, как определено в примере 1; относительный вес шлака уменьшился до $588,41 : 833,33 = 0,71$, что однако допускает хороший ход на литейный чугун.

8. К более сложным расчетам приходится прибегать в случаях составления шихты на томасовский чугун, когда нужно регулировать количество марганца и фосфора в чугуне. Приведем, как пример, расчет шихты, состоящей главным образом из нормандских руд и минет из округа Брие, употребляющейся как примесь к нормандским рудам для повышения содержания фосфора в чугуне. Состав плавильных материалов (зола деремского кокса), вводимых в наш расчет, указан ниже.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
Мартеновский шлак . . %	10,0	2,0	42,0	6,0	10,0	6,0	6,0	0,4
Марганцовая руда . . %	7,5	2,7	0,75	0,45	8,2	50,2	0,07	0,04
Нормандские руды ¹⁾ . %	15,24	4,68	2,58	1,13	46,7	0,29	0,51	0,02
Минет из Брие . . . %	6,00	3,20	12,00	1,00	32,0	0,20	0,70	0,04
Кокс (1000 ч.) . . .	52,47	35,60	3,46	1,46	2,94	0,25	0,454	10,00
Флюс %	2,07	—	52,00	—	—	—	—	—

Для повышения содержания Р на 1000 кокса поступает в колошу 60 мартеновского шлака, а для получения желательного содержания марганца — 37 марганцевой руды. Нужно определить по расчету количество нормандских руд и минет из Брие, а затем — количество флюса.

Кокс, марганцовая руда и шлак дают в чугун:

	Кокс	Руда	Шлак	Всего
Fe	2,94	3,03	6,00	11,97
P	0,454	0,026	3,600	4,080
				$0,985 \cdot 11,97 = 11,79$
				$= 4,080$

Принимаем в чугуне: 0,5 Si, 1,5% Mn, 1,80% P и 92,9% Fe.

При расходе кокса 1075 кг на 1 т чугуна, на 1000 кокса приходится 930 чугуна, а в нем:

$$930 \cdot 0,929 = 863,97 \text{ Fe и}$$

$$930 \cdot 0,018 = 16,74 \text{ P.}$$

Таким образом руды должны дать:

$$863,97 - 11,79 = 852,18 \text{ Fe и } 16,74 - 4,08 = 12,66 \text{ P.}$$

Относя 1,5% всего железа на потерю в шлак, определяем выход железа из руды:

$$\begin{aligned} \text{смеси нормандских} & \dots \dots \dots 46,7 \cdot 0,985 = 46,00\% \\ \text{минет из Брие} & \dots \dots \dots 32,0 \cdot 0,985 = 31,52\% \end{aligned}$$

Определяя количество этих руд по железу и фосфору, получим

$$0,3152 \cdot x + 0,46 \cdot y = 852,18$$

$$0,007 \cdot x + 0,0051 \cdot y = 12,66$$

$$x = 916,3 \text{ и } y = 1224,7.$$

¹⁾ Анализы их были приведены раньше; взята смесь из 4-х руд. Состав руды из Брие по Трипье (содержание Fe слишком низко для этого сорта).

Разнося составные части шихты, переходящие в чугун, имеем:

	Fe	Mn	P	S	Si	C
1224,7 нормандск. руд	572,07	3,55	6,246	0,245	Si	
916,3 основной минет	293,22	1,83	6,414	0,367	из 9,9 SiO ₂	из кокса
60 мартеновского шлака . . .	6,00	3,60	3,600	0,240		
37 индийской руды	3,03	18,57	0,026	0,015		
1000 кокса	2,94	0,25	0,454	10,000		
	877,26	27,80	16,740	10,867	4,65	30,024
Вычет на шлак	13,29	13,85	—	10,200	—	—
В чугун переходит:	863,97	13,95	16,740	0,667	4,65	30,024
Прог. состав чугуна:	92,9	1,5	1,80	0,07	0,5	3,23

Шлакообразующие составные части шихты дают:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
1224,7 нормандских руд	186,64	57,32	31,90	13,83
916,3 минет Брие	54,98	29,32	109,96	9,16
60 мартеновского шлака . . .	6,00	1,20	25,20	3,60
37 индийской руды	2,78	1,00	0,28	0,17
1000 кокса	52,47	35,60	3,46	1,46
	302,87	124,44	170,80	28,22
Вычет	9,90	—	17,85	—
	292,97	124,44	152,95	28,22

При отношении SiO₂:Al₂O₃ около 2¹/₂ содержание RO = SiO₂ + Al₂O₃ дает шлак надлежащей плавкости для работы на томасовский чугун (380 кал.). Поэтому флюс должен дать:

$$292,97 + 124,44 - (152,95 + 28,22) = 236,24 \text{ RO.}$$

И его нужно взять

$$236,24 : (52 - 2) = 472,48.$$

Окончательно количество и состав шлака определяется так:

SiO ₂ . . .	292,97 + 472,48 · 0,01 = 302,42	или 33,17%	35,42	50,0%
Al ₂ O ₃ . . .	124,44	" 13,65%	14,58	
CaO . . .	152,95 + 472,48 · 0,52 = 398,64	" 43,72%	46,69	50,0%
MgO . . .	28,22	" 3,10%	3,31	
MnO . . .	13,85 · 71 : 55 = 17,88	" 1,96%	100,00	
FeO . . .	13,29 · 72 : 56 = 17,09	" 1,88%		
CaS . . .	10,2 · 72 : 32 = 22,95	" 2,52%		
	911,64 или 100,00%			

Теплота плавления рассчитанного шлака действительно равна 380 кал., температура плавления по диаграмме 1550°, вязкость удовлетворительная — 4 пуаза при 1500°.

9. Возьмем, наконец, для примера случай шихтовки люксембургской минет — основной и кислой, — содержащей слишком много Р и нуждающейся в примесях, понижающих его содержание и повышающих выход чугуна, каковыми служат: сварочный шлак и обожженные колчеданы.

Состав всех этих сырых материалов и золы кокса (120 на 1000 кокса) округа Льеж даны ниже.

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %	P %	S %
Люксембургск. минет осн.	7,77	3,69	17,20	1,34	27,56	0,25	0,86	0,03
" кислая	12,60	4,90	9,95	1,20	28,65	0,25	0,73	0,03
Пиритные огарки	9,00	0,50	0,50	0,2	62,5	0,3	0,01	0,70
Сварочный шлак	33,0	1,5	0,5	0,1	51	0,2	0,04	0,05
Индийская марг. руда	7,5	2,7	0,75	0,45	8,2	50,2	0,07	0,04
Флюс-известняк	1,4	0,6	53,0	0,5	—	—	—	—
Зола кокса	52,32	24,12	4,92	1,69	14,20	—	0,20	—

Положим что на 1000 кокса в колошу поступает 300 обожженного пирита, 70 сварочного шлака и 40 марганцовой руды (количества эти определены предварительным очень простым подсчетом), тогда ими вносятся в шихту:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
1000 кокса	62,78	28,94	5,90	2,03	17,04	—	0,240	12,200
300 пирита	27,00	1,50	1,50	0,60	187,50	0,90	0,030	1,410
70 сварочного шлака	23,10	1,05	0,35	0,07	35,70	0,14	0,028	0,035
40 марганцовой руды	3,00	1,08	0,30	0,18	3,28	20,08	0,028	0,016
	115,88	32,57	8,05	2,88	243,52	21,12	0,326	13,661

Ошлакование 13,661 серы требует и дает:

$$13,661 : 56 : 32 = 23,91 \text{ CaO}; 13,661 \cdot 72 : 32 = 30,74 \text{ CaS.}$$

При расходе кокса 1,1 на 1 чугуна, на 1000 кокса приходится 909,09 чугуна, в котором заключается 4,545 Si, восстанавливающихся из 9,46 SiO₂. Принимая для расчета SiO₂ + Al₂O₃ = CaO + MgO, что должно и в данном случае дать шлак подходящей плавкости (380 кал.), определяем количество флюса:

$$(115,88 + 32,57 + 23,91 - 8,05 - 2,88 - 9,46) : (53,5 - 2) = 295,1.$$

Чугун требует 909,09 · 0,929 = 844,54 Fe; имеется уже 243,52, полагая 1 1/2% на потерю в шлак, найдем, что минет должна дать:

$$1,015 \cdot 844,54 - 243,52 = 613,69 \text{ Fe.}$$

Кислая минет имеет избыток (SiO₂ + Al₂O₃):

$$(12,60 + 4,90) - (9,95 + 1,20) = 6,35,$$

а основная — избыток RO:

$$(17,20 + 1,34) - (7,77 + 3,69) = 7,08.$$

Очевидно на 100 кислой нужно взять

$$100 \cdot 6,35 : 7,08 = 89,69 \text{ основной,}$$

чтобы получить самоплавкую смесь. Она будет содержать

$$28,65 + 0,8969 \cdot 27,56 = 28,13\% \text{ Fe}$$

и ее нужно взять

$$613,69 : 0,2813 = 2181.$$

В этом количестве смеси будет заключаться

$$2181 \cdot 100 : 189,69 = 1150 \text{ кислой и } 2181 - 1150 = 1031 \text{ основной.}$$

Итак, все установленные расчетом составные части колоши дадут в чугун:

	Fe	Mn	P	S	Si	C	Итого
1150 кислой минет . . .	329,47	2,88	8,395	0,345	Из 9,46 SiO ₂	Из кокса	—
1031 основной минет . .	284,14	2,58	7,836	0,309			—
Все остальн. части шихты	243,52	21,12	0,326	13,661			—
	857,13	26,58	16,557	14,315	4,545	29,214	—
Вычет в шлак	12,59	13,00	—	13,661	—	—	—
В чугун перейдет . . .	844,54	13,58	16,557	0,654	4,545	29,214	909,09
Проц. состав чугуна . .	92,90	1,50	1,82	0,07	0,50	3,21	100,00

В шлак перейдет:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	CaS	Итого
Из 1150 кислой минет .	144,90	56,35	114,43	13,80	Из 13,00 Mn	Из 12,59 Fe	Из 13,661 S	—
1031 основной минет	80,11	38,04	177,33	13,82				—
остальных частей шихты	115,88	32,57	8,05	2,88				—
295,1 флюса	4,13	1,77	156,40	1,48	13,00	12,59	13,661	—
	345,02	128,73	556,21	31,98	16,78	16,19	30,74	—
Вычет в чугун	9,46	—	23,91	—	—	—	—	—
В шлак перейдет . . .	335,56	128,73	432,30	31,98	16,78	16,19	30,74	992,28
Проц. состав шлака . .	33,82	12,97	43,57	3,22	1,69	1,63	3,10	100,00
После пересчета . . .	36,14	13,86	46,56	3,44	—	—	—	100,00

Теплота плавления шлака, как предвиделось, 380 кал., температура плавления 1550°, а вязкость около 4 пуазов. Относительный вес шлака 992,28 : 909,09 = 1,09.

III. Расчет по отношению RO : SiO₂

10. Как уже было высказано, для древесноугольных шихт этот способ расчета неудобен, поэтому переходим к условиям работы доменных печей на коксе, зная для начала примеры определения количества флюса для золы кокса разного происхождения.

1) Зола донецкого кокса (средний анализ из 10 сортов) имеет нижеследующий состав:

SiO₂ — 43,00%; Al₂O₃ — 22,50%; CaO — 6,00%; MgO — 1,40%; Fe — 16,10%;
Mn — 0,22%; P — 0,31%.

Предполагая, что из нее восстанавливается полностью Fe, Mn и P, а при горячем ходе на литейный чугун и 2,5% Si, можно установить состав получающегося из золы чугуна таким:

C	Si	Mn	P	Fe
0,62	0,44	0,22	0,31	16,10 = 17,69 или:
3,50	2,50	1,25	1,75	91,00 = 100%

На 100 золы или 1000 кокса перейдет в шлак:

$$43,00 - 2,5 \frac{16,1}{91} \cdot \frac{100}{47} = 43,00 - 0,94 = 42,06 \text{ SiO}_2.$$

В 1000 кокса содержится 15 серы, требующей и дающей:

$$15 \cdot 56 : 32 = 26,25 \text{ CaO и } 15 \cdot 72 : 32 = 33,75 \text{ CaS.}$$

Значит, в шлак всего перейдет:

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	CaS
42,06	22,50	6,00	1,40	33,75

Отношение $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ в этом случае несколько менее 2 и, обращаясь к диаграмме фиг. 4, мы видим, что при таком значении этого отношения достаточно трудноплавкий шлак для работы на литейный чугун получается при отношении $\text{RO} : \text{SiO}_2 = 1,6$. По этому отношению мы и определим расход флюса, содержащего: 1,5% SiO_2 , 0,5% Al_2O_3 , 53,2% CaO и 0,95% MgO .

При таком составе флюс содержит избыток RO:

$$(53,2 + 0,95) - 1,5 \cdot 1,6 = 51,75\%.$$

Зола требует RO:

$$42,06 \cdot 1,6 - (6,00 + 1,40) = 59,9.$$

Отсюда потребность во флюсе для ошлаковки золы и серы (на 100 золы или 1000 кокса):

$$(26,25 + 59,9) : 0,5175 = 166,47.$$

Количество и состав получающегося шлака:

$42,06 + 166,47 \cdot 0,015 = 44,56$	SiO_2	или	32,00%	и	25,77%
$22,5 + 166,47 \cdot 0,005 = 23,33$	Al_2O_3	"	16,70%	"	13,49%
$6,0 + 166,47 \cdot 0,532 = 68,31$	CaO	"	49,10%	"	39,50%
$1,4 + 166,47 \cdot 0,0095 = 2,98$	MgO	"	2,20%	"	1,72%
Всего без CaS . .	139,18		100,0%	и	80,48%
	33,75 CaS				19,52%
	172,93				100,00%

Проверка расчета показывает, что отношение $\text{RO} : \text{SiO}_2$ в шлаке получилось тем, каким задавались:

$$(68,31 + 2,98) : 44,56 = 1,6 \text{ (т. е. } 48 : 30).$$

Количество CaS в шлаке в данном случае так велико, что сильно меняет процентный состав силиката и делает затруднительным сравнение полученных чисел с теми, которые выражают состав обыкновенных шлаков. Ввиду этого, а также и для того, чтобы более правильно установить плавкость силиката по диаграмме, был рассчитан процентный состав его без CaS. Силикат требует 420 кал. для своего плавления и температуры 1600°, что можно считать нормой для литейного чугуна первых номеров; отношение $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ — тоже вполне подходит для работы на такой чугун. Так как криворожские руды содержат мало глинозема, то зола кокса в этом случае (т. е. плавки на донецком коксе) лишь исправляет шихту. Обратно, — для производства передельного чу-

туна шлак, получаемый из золы донецкого кокса, как и кокса всех почти металлургических районов, совершенно не подходит.

2) Состав золы вестфальского кокса и флюса некоторых германских заводов указан ниже:

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %	P %
Кокс	44	30	3	1,5	13	0,4	0,29
Флюс	1,4	0,6	53,0	0,5	0,7	—	—

Содержание золы в коксе может быть принято в 10⁰/₀, а серы 1,086⁰/₀ (среднее для кокса 36 германских заводов по Вюсту); ошлаковка последней требует и дает (на 1000 кокса):

$$10,86 \cdot 56 : 32 = 19,01 \text{ CaO и } 10,86 \cdot 72 : 32 = 24,43 \text{ CaS.}$$

На восстановление 2,5⁰/₀ Si (по отношению к 92% Fe) расходуется

$$2,5 \frac{13}{92} \cdot \frac{100}{47} = 0,75 \text{ SiO}_2.$$

Поэтому для ошлаковки золы, при отношении RO:SiO₂ = 1,6, подходящем и для данного случая, требуется RO:

$$(44,00 - 0,75) \cdot 1,6 - (3,0 + 1,5) = 64,7.$$

к как флюс содержит избыток RO:

$$(53,0 + 0,5) - 1,4 \cdot 1,6 = 51,26,$$

то его нужно взять

$$(64,70 + 19,01) : 0,5126 = 163,34.$$

На 1000 кокса получится в шлаке:

SiO ₂	43,25 + 2,29 = 45,54	или 30,49 ⁰ / ₀	и 26,20 ⁰ / ₀
Al ₂ O ₃	30 + 0,97 = 30,97	" 20,73 ⁰ / ₀	" 17,82 ⁰ / ₀
CaO	3 + 86,57 - 19,01 = 70,56	" 47,23 ⁰ / ₀	" 40,59 ⁰ / ₀
MgO	1,5 + 0,82 = 2,32	" 1,55 ⁰ / ₀	" 1,34 ⁰ / ₀
	149,39	100,00 ⁰ / ₀	85,95 ⁰ / ₀
CaS	24,43		14,05 ⁰ / ₀
	173,82		100,00 ⁰ / ₀

Теплота и температура плавления силиката (т. е. по исключении CaS) — 415 кал. и 1600° соответствует ходу на литейный чугун, точно так же, как и химический состав. При работе с глиноземистой рудой на передельный чугун (напр., рудой минет) зола ухудшает состав шихты. Что касается количества чугуна, получающегося из золы, то, прибавляя к железу Mn и P, 0,35⁰/₀ Si и 0,46⁰/₀ C, мы получим 14,5 чугуна на 1000 кокса.

3) Кокс бельгийского производства округа Льеж — по Р. Грюневальду¹⁾ содержит в среднем 1,22⁰/₀ S и 12⁰/₀ золы ниже следующего состава:

¹⁾ Belgische Kohlen und Koks, стр. 25.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P
100 золы	52,32	24,12	4,92	1,69	14,20	—	0,214
1000 кокса	62,78	28,94	5,90	2,03	17,04	—	0,257

Ведя расчет по предыдущему на отношение $RO:SiO_2 = 1,6$, нужно взять для ошлаковки золы и серы кокса 219,05 флюса и в шлак перейдет:

SiO ₂	61,79 + 3,07 = 64,86	или 32,61%	и 28,66%
Al ₂ O ₃	28,94 + 1,31 = 30,25	" 15,21	" 13,36 "
CaO	5,90 + 116,10 = 122,00	" 50,61	" 44,47 "
MgO	2,03 + 1,10 = 3,13	" 1,57	" 1,38 "
CaS	198,89	100,00%	и 87,87%
	27,45		12,13 "
	226,34		100,00%

Теплота и температура плавления шлака — 420 кал. и 1600°. Чугуна получится из золы 18 на 1000 кокса.

4) Деремский кокс, по анализу, неоднократно приводившемуся раньше, имеет совершенно то же отношение $SiO_2:Al_2O_3$, какое дает анализ вестфальского кокса, приведенный в предыдущем случае, поэтому состав шлака из обоих этих видов кокса, при расчете на одинаковое отношение $SiO_2:RO$, тоже совершенно одинаков, но так как зола деремского кокса содержит очень мало железа и, следовательно, пропорционально больше флюсующихся частей, то для этого кокса требуется больше флюса, содержащего 2,9% SiO_2 и 52% RO , а именно — 203,25, что дает большее количество шлака — 211,83.

Сопоставляя результаты расчета для всех 4 сортов кокса, можно сказать, что зола их дает подходящие для литейного чугуна по составу и одинаковые по трудноплавкости (420 кал.) шлаки; наиболее глинозистыми из них являются шлаки вестфальского и деремского коксов, менее — донецкого и округа Льеж; последние два дают очень близкие по химическому составу шлаки. Потребность во флюсе (считая на 1000 кокса), количества даваемого шлака и чугуна указаны параллельно ниже:

Зола кокса:	1) донец- кого	2) вест- фальского	3) бель- гийского	4) дерем- ского
Флюса на 1000 кокса . .	166,5	163,3	219,0	203,3
Шлака " 1000 " . . .	172,9	173,8	226,3	211,8
Чугуна " 1000 " . . .	17,7	14,5	18,0	около 4

11. Возьмем вторым примером случай из американской практики, именно: выплавку нормального бессемеровского чугуна из руды Мисаби, дающей нормальный по химическому составу и степени легкоплавкости шлак. По частному сообщению автору, доменными печами завода Шерпвил такой чугун выплавляется из смеси руд: $\frac{1}{8}$ рудника Уэб, $\frac{1}{8}$ Литонии и $\frac{3}{4}$ Шиненго. Состав рудного смешения, равно как золы кокса и флюса ($\frac{1}{2}$ известняка + $\frac{1}{2}$ доломита), указан ниже:

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %	P %	S %
Мисаби (смесь 3 руд)	6,56	2,05	0,14	0,07	51,7	1,05	0,044	0,01
Флюс	2,26	0,63	41,75	10,52	—	—	—	—
Зола кокса	58,78	34,60	2,60	0,10	4,40	—	0,052	—

Кокса расходуется единица на 1 чугуна, содержащего $1,25\%$ Si, около $1,0\%$ Mn и 94% Fe. На 1000 кокса приходится, значит, 940 Fe (или 944,7 с потерей $1/2\%$ в шлаке) и 12,5 Si, восстанавливаемого из $25,6 \text{ SiO}_2$. Так как золы в коксе $12,5\%$ и она вносит 5,5 железа, то руды потребуется $(944,7 - 5,5) : 0,517 = 1816,7$.

Руда и кокс вносят в шихту:

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	S
1816,7 руды	119,18	37,24	2,54	1,27	0,18
125 золы кокса	73,48	43,05	3,25	0,13	8,50
	192,66	80,29	5,79	1,40	8,68
Вычет	25,60		7,19		0,30
	167,06				8,38

При отношении $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 2$ в надлежащей степени трудноплавкие (для невысококремнистого бессемеровского чугуна — 400 кал.) шлаки получаются при $\text{RO} : \text{SiO}_2 = 1,5$. Задаваясь этим значением, найдем, что руда и зола требуют RO:

$$167,06 \cdot 1,5 - 7,19 = 243,40.$$

Сера кокса и руды, за отчислением 0,3 на чугун, требует и дает:

$$8,38 \cdot 56 : 32 = 14,68 \text{ CaO и } 8,38 \cdot 72 : 32 = 18,85 \text{ CaS.}$$

Флюс содержит избыток RO:

$$(41,75 + 10,52) - 2,26 \cdot 1,5 = 48,88\%,$$

откуда расход флюса

$$(243,40 + 14,68) : 0,4888 = 528.$$

Правильность определения показывает проверка. В чугун перейдет:

	Fe	Mn	P	S	Si	C	
Из 1816,7 руды	939,23	19,08	0,799	0,18	Из 25,60	Из	Итого
„ 1000 кокса	5,50	—	0,065	8,50	SiO_2	кокса	—
	944,73	19,08	0,864	8,68	12,50	34,336	—
В шлак	4,73	7,08	—	8,38	—	—	—
В чугун	940,00	12,00	0,864	0,30	12,50	34,336	1000,00
Проц. состав чугуна	94,0	1,2	0,09	0,03	1,25	3,43	100,00

В шлак переходит (исключая 14,68 CaO на образование CaS):

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	CaS	FeO	MnO	Итого
Из руды и кокса	167,06	80,29	5,79	1,40	Из	Из	Из	—
Из флюса	11,93	3,33	205,76	55,54	8,38 S	4,73 Fe	7,08 Mn	—
	178,99	83,62	211,55	56,94	18,85	6,03	9,14	565,17
Проц. состав шлака	31,67	14,79	37,43	10,07	3,34	1,08	1,62	100,00

$$(211,55 + 56,94) : 178,99 = 1,5$$

По теплоте плавления (400 кал.) шлак вполне отвечает заданию, а по химическому составу он отличается от действительно получаемого более высоким содержанием глинозема и, соответственно, более низким кремнезема: очевидно, в этом случае, как и во многих других, анализ увеличивает содержание глинозема в руде.

12. Перейдем теперь к определению количества флюса для марганцевых руд при выплавке зеркального чугуна и ферромангана. В этом случае, как уже было указано, рассматриваемый способ расчета является наиболее удобным и непосредственно приводящим к цели, так как полнота перехода марганца в чугун регулируется отношением $(\text{CaO} + \text{MgO}) : \text{SiO}_2$ в шлаке и нормальные (по содержанию глинозема) шлаки должны иметь это отношение не менее 1,5 (для зеркального) и 1,6 (для ферромангана).

1) Предположим, что плавка ведется на зеркальный чугун, содержащий 0,5% Si, 74% Fe и 20% Mn; что расход кокса (донецкого) равен 1,333, а рудой служит кавказский пиролюзит и флюсом — известняк донецкого бассейна. Состав этих материалов указан ниже:

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe	Mn	S
Пиролюзит кавказский %	9,2	1,88	1,60	—	1,11	51,84	—
Известняк %	1,5	0,5	53,3	0,95	—	—	—
Кокс (1000 ч.)	43,0	22,5	6,0	1,4	16,1	0,22	15,0

На 1000 кокса получается:

$$\begin{aligned} 1000 : 1,333 &= 750 \text{ чугуна, в котором} \\ 750 \cdot 0,005 &= 3,75 \text{ Si (соответственно } 7,98 \text{ SiO}_2) \\ 750 \cdot 0,74 &= 555 \text{ Fe} \\ 750 \cdot 0,20 &= 150 \text{ Mn.} \end{aligned}$$

Если в чугун переходит 75% Mn шихты, то нужно:

$$150 : 0,75 = 200 \text{ Mn.}$$

Так как в золе кокса находится 0,22 Mn, то рудой должно быть внесено 199,78 Mn, и ее нужно взять:

$$199,78 : 0,5184 = 385,39.$$

Руда даст железа — $385,39 \cdot 0,0111 = 4,28$.

Зола кокса — 16,10.

Железной рудой нужно внести:

$$555 - 4,28 - 16,10 = 534,62.$$

Если взять криворожскую руду 1 сорта, содержащую 66% Fe, 30% SiO_2 и 1% Al_2O_3 , то ее нужно:

$$534,62 : 0,66 = 810,03.$$

Количество флюсующихся составных частей золы и руд:

Зола кокса	Железн. руда	Марганц. руда	Всего
$43,0 + 810,03 \cdot 0,03 = 7,98$	$+ 385,39 \cdot 0,092$		$= 94,78 \text{ SiO}_2$
$22,5 + 810,03 \cdot 0,01$	$+ 385,39 \cdot 0,0188$		$= 37,85 \text{ Al}_2\text{O}_3$
6,0	$+ 385,39 \cdot 0,016$		$= 12,17 \text{ CaO}$
1,4			$= 1,40 \text{ MgO}$

Сумма $RO=13,57$, следовательно, беря обычное отношение $RO:SiO_2=1,5$, нужно ввести в шихту:

$$94,78 \cdot 1,5 - 13,57 = 128,60 RO.$$

Предполагая, что 20% всей серы улетучивается, найдем, что нужно ввести

$$0,8 \cdot 15 \cdot 56 : 32 = 21 \text{ CaO флюсом,}$$

чтобы получить

$$21 \cdot 72 : 56 = 27 \text{ CaS в шлаке.}$$

Потребность во флюсе определяется так:

$$53,2 + 0,95 - 1,5 \cdot 1,5 = 51,9\% RO свободных, \\ (128,60 + 21) : 0,519 = 288,25.$$

Количество и состав шлака

$94,78 + 288,25 \cdot 0,015$	$= 99,10 SiO_2$	$31,55\%$	или $29,98\%$
$37,85 + 288,25 \cdot 0,005$	$= 39,29 Al_2O_3$	$12,51 \text{ "}$	$11,88\%$
$12,17 + 288,25 \cdot 0,532 - 21$	$= 144,52 CaO$	$46,02 \text{ "}$	$43,72\%$
$1,4 + 288,25 \cdot 0,095$	$= 4,14 MgO$	$1,32 \text{ "}$	$1,25\%$
	$27,00 CaS$	$8,60 \text{ "}$	$8,17\%$
Всего без MnO . .	314,05	100,00%	95,00%
MnO . .	16,53		5,00%
„ включая MnO	330,58		100,00%

Проверка:

$$(144,52 + 4,14) : 99,10 = 1,5.$$

Относительное количество шлака —

$$314,05 : 750 = 0,418 \text{ без MnO и}$$

$$330,58 : 750 = 0,441 \text{ с MnO}$$

только что достаточное для правильной работы печи, но оно обеспечивает минимальную потерю марганца в шлаке. Степень трудноплавкости шлака (440 кал. и температура плавления 1500°) вполне подходящие; текучесть шлака близка к 6 лузам; в действительности, благодаря влиянию закиси марганца, трудноплавкость понизится, а текучесть возрастет.

2) Определение количества флюса при работе на ферроманган делается проще, чем в предшествовавшем примере, так как железная руда не входит в состав шихты: железо вводится в нее или чугуном скрапом или марганцевой рудой.

Положим, что плавка ведется на ферроманган, содержащий 0,6% Si и 80% Mn, что в сплав переходит 0,75 марганца руды (чистурской), и что расход кокса (донецкого) — 2,5.

В таком предположении на 1000 кокса выплавляется 400 ферромангана, содержащего 320 Mn; рудой нужно дать $320 - 0,22 = 319,78$ Mn. Так как из руды (состав тот же, что и в предшествовавшем расчете) переходит в чугун $51,84 \cdot 0,75 = 38,88\%$ Mn, то ее нужно взять:

$$319,78 : 0,3888 = 822,47.$$

Руда и зола кокса дадут в шлак (исключая MnO):

$$\begin{aligned} 822,47 \cdot 0,092 + 43 - 5,11 &= 113,56 \text{ SiO}_2 \\ 822,47 \cdot 0,0188 + 22,5 &= 37,96 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 822,47 \cdot 0,016 + 6,0 &= 19,16 \text{ CaO} \\ &1,40 \text{ MgO.} \end{aligned}$$

Чтобы достигнуть отношения $\text{RO}:\text{SiO}_2 = 48:30 = 1,6$, подходящего для данного случая, нужно ввести в шлак:

$$113,56 \cdot 1,6 - (19,16 + 1,40) = 161,14 \text{ RO.}$$

Но в 100 флюса заключается свободных RO:

$$(53,2 + 0,95) - 1,5 \cdot 1,6 = 51,75,$$

поэтому нужно взять

$$161,14 : 0,5175 = 312,47 \text{ флюса.}$$

Имея в виду, что при работе на ферроманган улетучивается около $\frac{1}{2}$ всей серы, определим, что перевод серы в шлак потребует:

$$\begin{aligned} 7,5 \cdot 56 : 32 &= 13,13 \text{ CaO и} \\ 13,13 : 0,5175 &= 25,46 \text{ флюса.} \end{aligned}$$

А вся потребность во флюсе будет равна:

$$312,47 + 25,46 = 337,93.$$

Вес и состав получающегося шлака:

$$\begin{array}{rcll} 113,56 + 337,93 \cdot 0,015 &= 118,63 \text{ SiO}_2 & 32,5\% \text{ или } 29,2\% \\ 37,96 + 337,93 \cdot 0,005 &= 39,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 & 10,8 \text{ " " } 9,7\% \\ 19,16 + 337,93 \cdot 0,0532 - 13,13 &= 185,81 \text{ CaO} & 50,8 \text{ " " } 45,7\% \\ 1,4 + 337,93 \cdot 0,0095 &= 4,61 \text{ MgO} & 1,3 \text{ " " } 1,2\% \\ &16,88 \text{ CaS} & 4,6 \text{ " " } 4,2\% \end{array}$$

$$\begin{array}{rcll} \text{Всего, не включая MnO} & . & 365,58 & 100,0\% \quad 90,0\% \\ \text{MnO} & . & 40,62 & & 10,0\% \end{array}$$

$$\text{„ включая MnO} \quad . \quad 406,20 \quad 100,0\%$$

Проверка:

$$(185,81 + 4,61) : 118,63 = 1,6.$$

Относительный вес шлака:

$$365,58 : 400 = 0,914 \text{ без MnO}$$

$$406,20 : 400 = 1,016 \text{ с MnO.}$$

Эти отношения гораздо выше тех, которые желательны для возможного уменьшения потери марганца в шлаке, но они неизбежны, так как вызываются: 1) высоким содержанием кремнезема в руде; 2) необходимостью брать последней $\frac{1}{3}$ вместо 1; 3) большим количеством золы

1) 2,4 Si в чугуне требуют 5,11 SiO_2 .

кокса, вносящей около $\frac{1}{3}$ всего количества кремнезема, переходящего в шлак.

Трудноплавкость шлака (не считая в нем MnO и CaS) очень высока (440 кал. и 1700° температура плавления), но она и должна быть такой по расчету; вязкость — около 8 пуазов — нестрашна, так как будет значительно понижена в действительности закисью марганца.

Введение в ферроманган необходимого количества железа (12%), т. е. 48 на 1000 кокса может быть произведено без всякого нарушения расчета шихты.

Марганцовая руда и зола кокса вносят:

$$822,47 \cdot 0,0111 + 16,1 = 25,23 \text{ Fe.}$$

Недостающее количество ($48 - 25,23 = 22,77$) железа может быть введено, чтобы не увеличивать веса шлака, и без того значительного, чугуном скрапом или стружкой.

В тех случаях, когда имеют возможность располагать и кавказской и индийской рудой, смешением их легко достигнуть нужного содержания в чугуне и марганца и железа.

Если, напр., индийская руда из Вазагапатам и кавказская содержат:

Fe %	и	Mn %	
10,10		51,10	(в чугун переходит 38,33%)
1,11		51,84	(„ „ „ 38,88%)

а в чугуне должно быть 12% Fe и 80% Mn, то относительные количества той и другой руды (на 100 чугуна) определяется так:

$$0,101 \cdot x + 0,0111 \cdot y = 12; \quad 0,3833 \cdot x + 0,3888 \cdot y = 80,$$

откуда:

$$x = 108 \text{ и } y = 99,3.$$

Проверка:

Fe из руды: $108 \cdot 0,101 = 10,9$	Mn из руд: $108 \cdot 0,5110 = 55,19$
$99,3 \cdot 0,0111 = 1,1$	$99,3 \cdot 0,5184 = 51,48$
12,0	106,67
$106,67 \cdot 0,75 = 80.$	

IV. Расчет по содержанию только одной из главных составных частей или сумме некоторых

Составными частями, по содержанию которых можно удобно и целесообразно вести расчет, являются сумма ($SiO_2 + Al_2O_3$), SiO_2 и сумма ($CaO + MgO$). Для древесноугольных шихт, в которых как кремнезем, так и глинозем могут меняться в очень широких пределах, всего удобнее вести расчет по сумме $SiO_2 + Al_2O_3$ или, что почти то же, по сумме $CaO + MgO$.

13. Кливлендские руды, отличаясь вообще высоким содержанием глинозема, обнаруживают все же переменное отношение $SiO_2 : Al_2O_3$, сумма же этих двух окислов при работе на чугун определенных качеств может быть принята постоянной. Для литейного чугуна, содержащего

2,5 Si и 91,30% Fe, примем сумму $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 54\%$, хотя местная практика идет в этом отношении дальше и допускает даже 56%. Состав сырых материалов, которые войдут в расчет, указан ниже.

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
Руда (сырая) %	11,84	10,21	4,74	3,54	28,14	0,41	0,47	0,27
Известняк %	2,9	1,2	51,0	1,0	—	—	—	—
Кокс (1000 ч.)	52,47	35,60	3,46	1,46	2,94	0,25	0,454	10,00

Состав руды представляет средний анализ сырой руды добычи 1917 г. по данным Гатч (Hatch).¹⁾ Хотя руда идет в плавку в обожженном состоянии — исключительно или частью — это не меняет результатов расчета.

При относительном расходе кокса 1,2, на 1000 его приходится 833,33 чугуна, в котором заключается 760,83 Fe (с 0,50% потерей в шлак — 764,63) и 20,83 Si (из 44,33 SiO_2).

Руды на 1000 кокса нужно взять

$$(764,63 - 2,94) : 0,2814 = 2707.$$

Кокс и руда дадут в чугун:

	Fe	Mn	P	S	Si	C	Итого
2707 руды	761,75	11,10	12,723	7,31	Из	Из	—
1000 кокса	2,94	0,25	0,454	10,00	44,33 SiO_2	кокса	—
	764,69	11,35	13,177	17,31	20,83	31,243	—
В шлак и вынос	3,86	4,54	—	16,87	—	—	—
	760,83	6,81	13,177	0,44	20,83	31,243	833,33
Проц. состав чугуна . .	91,3	0,81	1,58	0,05*	2,5	3,76	100,00

Принимая 3,24 S улетучивающейся, в шлак нужно перевести 13,63 S, что требует 23,85 CaO и дает 30,68 CaS. В шлак перейдет из руды и кокса (по исключении 44,33 восстанавливаемого SiO_2)

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 & 320,51 + 52,47 - 44,33 = 328,65 \\ \text{Al}_2\text{O}_3 & 276,38 + 35,60 = 311,98 \end{aligned}$$

$$\text{Итого} \quad . \quad . \quad 640,63$$

Всего составных частей шихты должно быть $640,63 : 0,54 = 1186,35$. Между тем руда и кокс дают

	CaO	MgO	FeO	MnO	CaS	Итого
Руда	128,31	95,83	Из	Из	Из	—
Кокс	3,46	1,46	3,86 Fe	4,54 Mn	13,63 S	—
	131,77	97,29	4,96	5,86	30,68	270,56

Поэтому флюсом нужно добавить в шлак RO:

$$1186,35 - (640,63 + 270,56) = 275,16.$$

¹⁾ Hatch. — Journal Iron and Steel Inst. 1918, I, 71—125. В том же журнале 1920, I, 174, Ридсдель дает содержание в „хорошей“ кливлендской руде SiO_2 — 10,61% и Al_2O_3 — 6,14% при таком же содержании Fe (28,04%), какое дает средний анализ.

В чугун перейдет:

	Fe	Mn	Ni	Cr	P	S	Si	C	Итого
Из 1320,8 маяри	746,66	9,38	12,28	26,94	0,238	—	Из	Из	—
„ 93,45 шлака	47,66	0,65	—	—	0,046	0,046	18,83	кокса	—
„ 1000 кокса	9,72	0,38	—	—	0,045	9,000	SiO ₂	—	—
	804,04	10,41	12,28	26,94	0,329	9,046	8,85	38,715	—
В шлак	4,00	5,21	1,22	6,58	—	8,600	—	—	—
	800,04	5,20	11,06	20,36	0,329	0,446	8,85	38,715	885,00
Прог. состав чугуна	90,4	0,59	1,25	2,30	0,04	0,05	1,00	4,37	100,00

Содержание хрома и никеля указано согласно анализа действительно получавшегося чугуна; разность должна считаться потерей или несоответствием анализа руды среднему содержанию в ней Cr и Ni, что весьма вероятно, так как содержание этих элементов меняется в руде, соответственно глубине залегания.

В шлак перейдет:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	MnO	CaS	Итого
Из маяри	54,28	170,25	—	—	Из	Из	Из	—
„ сварочного шлака	27,39	0,93	0,56	—	4,00Fe	5,21Mn	8,6S	—
„ кокса	42,66	30,62	1,17	0,36	—	—	—	—
	124,33	201,80	1,73	0,36	5,14	6,73	19,35	—
Вычет	18,83	—	—	—	—	—	—	—
	105,50	201,80	2,09	5,14	6,73	19,35	340,61	—

Так как сумма SiO₂ + Al₂O₃ составляет 52% веса шлака (такое значение найдено опытом наиболее подходящим), то указанное в итоге количество этих окислов приходится на:

$$(105,5 + 201,8) : 0,52 = 590,96 \text{ шлака.}$$

Следовательно, флюсом нужно ввести (присоединяя 15,05 CaO на образование 19,35 CaS):

$$590,96 - 340,61 + 15,05 = 265,40 \text{ RO.}$$

Но флюс, образуя со своим SiO₂ и Al₂O₃ шлак, содержащий их 52%, оставляет свободными RO:

$$51,40 - (5 : 0,52 - 5) = 46,78\%.$$

Поэтому его нужно взять

$$265,40 : 0,4678 = 367,33.$$

Действительно, с таким количеством флюса мы получим в шлаке:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	MnO	CaS	Итого
Из флюса	22,69	5,67	223,53	68,08	—	—	—	—
„ др. частей шихты	124,33	201,80	1,73	0,36	—	—	—	—
	147,02	207,47	225,26	68,44	5,14	6,73	19,35	—
Вычет	18,83	—	15,05	—	—	—	—	—
	128,19	207,47	210,21	68,44	5,14	6,73	19,35	645,53
Прог. состав шлака	19,86	32,14	32,58	10,60	0,78	10,4	3,00	100,00

Хотя шлак такого состава был найден удобным для работы, но по данным Ренкина для его плавления нужна температура не ниже 1550° (считая, что все окислы RO представляют CaO, что избегнуто в данном случае употреблением доломита); более легкоплавкие шлаки получаются или путем значительного уменьшения содержания CaO с одновременным увеличением SiO_2 или, обратно, — повышением Al_2O_3 . Но первое средство, требуя введения большого количества сварочного шлака или кремнистой руды, не имеет практического значения, так как ведет к обесцениванию продукта (понижением содержания Cг и Ni), а второе осуществимо постольку, поскольку это допускает состав пустой породы руды маяри и золы кокса. Взявши одну руду маяри, т. е. исключивши SiO_2 сварочного шлака, легко определить, что в состав получающегося шлака SiO_2 и Al_2O_3 войдут в количестве 16,5% и 35,5%; температура плавления такого шлака не выше 1490° ; содержание Al_2O_3 , как показал опыт¹⁾, не делает его насчет кремнезема слишком густым; следовательно, прибавление сварочного шлака было в данном случае ошибочной мерой и оно было впоследствии оставлено.

15. Плавка на коксе делает удобным применение способа расчета количества флюса и по содержанию RO в шлаке. Для горячих чугунов, — напр., литейного, гематита и бессемеровского, — RO часто устанавливается в 48%.

Пользуясь этим значением RO, определим количество флюса для плавки на коксе литейного чугуна, содержащего 2,5% Si и 93% Fe, из рудного смешения нижеследующего анализа:

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe	Mn
11,34%	4,52%	0,91%	0,43%	50,158%	0,35%

(Рудное смешение такого состава может состоять как из криворожских руд, донецкого бурого железняка и керченской руды, так и руд Верхнего озера, — одних или с прибавкой бурых железняков из округа Мейвил).

При относительном расходе нашего южного кокса 1,2, на 1000 ч. его получается:

$$\begin{aligned} 4000:1,2 &= 833,33 \text{ чугуна,} \\ 833,33 \cdot 0,93 &= 775 \text{ Fe в нем} \\ 833,33 \cdot 0,025 &= 20,83 \text{ Si (соответственно 44,33 SiO}_2\text{).} \end{aligned}$$

Так как зола кокса вносит 16,1 Fe, то на 1000 ч. кокса потребуются руды:

$$(775 - 16,1):0,50158 = 1513.$$

Руда и зола кокса вносят в шлак:

$$\begin{aligned} 1513 \cdot 0,1134 + 43,00 - 44,33 &= 170,24 \text{ SiO}_2 \\ 1513 \cdot 0,0452 + 22,5 &= 90,89 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 1513 \cdot 0,0091 + 6,00 &= 19,77 \text{ CaO} \\ 1513 \cdot 0,0043 + 1,40 &= 7,91 \text{ MgO} \\ 15 \cdot 72:32 &= 33,75 \text{ CaS} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} 1513 \cdot 0,1134 + 43,00 - 44,33 \\ 1513 \cdot 0,0452 + 22,5 \\ 1513 \cdot 0,0091 + 6,00 \\ 1513 \cdot 0,0043 + 1,40 \end{aligned}} \right\} 27,68$$

$$322,56$$

¹⁾ В исследование Мак-Кефери не вошли смеси с столь низким содержанием кремнезема.

Так как в шлак переходит

$$322,56 - 27,68 = 294,88$$

всех других составных частей, кроме RO, а количество RO должно составить 48/52 веса других частей шлака, то флюсом нужно ввести RO:

$$294,88 \cdot 48 : 52 = 272,2.$$

В нашем флюсе (прежний состав) находится:

$$(53,2 + 0,95) - (1,5 + 0,5) 48 : 52 = 52,3\% \text{ свободных RO.}$$

Принимая во внимание количество CaO для ошлаковки серы (26,25 — попрежнему), определим расход флюса:

$$(26,25 + 272,2 - 27,68) : 0,523 = 517,72.$$

Состав и вес шлака:

170,24	+ 517,72 · 0,015	= 178,01	SiO ₂	или 30,32%	} 48,00%
90,89	+ 517,72 · 0,005	= 93,48	Al ₂ O ₃	15,93%	
19,77	+ 517,72 · 0,532 - 26,25	= 268,95	CaO	45,82%	
7,91	+ 517,72 · 0,0095	= 12,83	MgO	2,18%	
		33,75	CaS	5,75%	
Всего шлака		587,02		100,00%	

При работе на американском коксе и рудах, в шлаке было бы только 40% CaS, а в сумме SiO₂ + Al₂O₃ первого больше, а второго меньше.

Расчет произведен правильно, как указывает процентное содержание RO.

Нужно заметить, что в шлак перейдет незначительное количество закиси марганца:

$$1513 \cdot 0,0035 \cdot 0,3 = 1,589 \text{ Mn или } 2,05 \text{ MnO,}$$

составляющее лишь около 0,4% веса шлака и не меняющее заметно его состав.

Теплота плавления шлака приблизительно по Окерману — 420 кал., температура же плавления по Ренкину близка к 1600°. Относительное содержание глинозема и кремнезема соответствуют ходу на литейный чугун первых номеров, а относительное количество шлака —

$$587,02 : 833,33 = 0,7$$

совершенно достаточно для такого хода. Вязкость шлака — около 7 пуазов при 1500° — нормальна для литейного чугуна.

16. Определим теперь количество флюса, задаваясь содержанием SiO₂ в шлаке, на бессемеровский чугун (гематит), выплаваемый из испанских бурых железняков на деремском коксе. Состав сырых материалов указан в прилагаемой табличке:

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Fe %	Mn %
Руда	9,50	1,80	0,45	0,40	48,28	0,70
Известняк	2,90	1,21	51,96	1,05	—	—
Зола	52,47	35,67	3,46	1,46	2,94	0,25

В чугунае заключаются 2,0% Si и 93% Fe. Кокс содержит 9% золы и 0,9% S, относительный расход его — 1,1. В английских шлаках на гематит содержание SiO₂ лежит в пределах 33—35%; мы зададимся средним содержанием, т. е. 34%.

На 1000 кокса приходится:

$$\begin{aligned}
 1000 : 1,1 &= 909,09 \text{ чугуна,} \\
 909,09 \cdot 0,02 &= 18,18 \text{ Si в нем (соотв. } 38,68 \text{ SiO}_2) \\
 909,09 \cdot 0,93 &= 845,45 \text{ Fe в нем} \\
 1000 \cdot 0,09 &= 90 \text{ золы в коксе} \\
 0,0294 \cdot 90 &= 2,65 \text{ Fe „ „} \\
 1000 \cdot 0,009 &= 9 \text{ серы „ „ требующей —} \\
 9 \cdot 56 : 32 &= 15,75 \text{ CaO.}
 \end{aligned}$$

Потребное количество руды

$$(845,45 - 2,65) : 0,4828 = 1745,6.$$

Руда и кокс дают в шлак:

$$\left. \begin{aligned}
 1745,6 \cdot 0,095 + 90 \cdot 0,5247 - 38,68 &= 174,37 \text{ SiO}_2 \\
 1745,6 \cdot 0,018 + 90 \cdot 0,3567 &= 63,52 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\
 1745,6 \cdot 0,0045 + 90 \cdot 0,0346 &= 10,97 \text{ CaO} \\
 1745,6 \cdot 0,004 + 90 \cdot 0,0146 &= 8,29 \text{ MgO} \\
 9 \cdot 72 : 32 &= 20,25 \text{ CaS}
 \end{aligned} \right\} 103,03.$$

Так как в шлаке должно быть 66% всех других окислов, кроме SiO₂, то на 174,37 ч. его шлак должен содержать их

$$174,37 \cdot 66 : 34 = 338,48.$$

Значит, добавить флюсом нужно, имея в виду, что S требует 15,75 CaO,

$$338,48 - 103,03 + 15,75 = 251,2.$$

Так как флюс содержит других свободных шлакующихся окислов, кроме SiO₂,

$$1,21 + 51,96 + 1,05 - 2,9 \cdot 66 : 34 = 54,22 - 5,63 = 48,59,$$

то потребность во флюсе определится так:

$$251,2 : 0,4859 = 517.$$

В шлак перейдет:

$$\begin{aligned}
 517 \cdot 0,029 + 174,37 &= 189,36 \text{ SiO}_2 \text{ или } 34,00\% \\
 517 \cdot 0,0121 + 63,52 &= 69,78 \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ „ } 12,53 \text{ „} \\
 517 \cdot 0,5196 + 10,97 - 15,75 &= 263,85 \text{ CaO „ } 47,37 \text{ „} \\
 517 \cdot 0,0105 + 8,29 &= 13,72 \text{ MgO „ } 2,46 \text{ „} \\
 9 \cdot 72 : 32 &= 20,25 \text{ CaS „ } 3,64 \text{ „}
 \end{aligned}$$

$$\text{Всего шлака } 556,96 \quad 100,00\%$$

Содержание SiO_2 в шлаке точно отвечает заданному; химический состав шлака довольно благоприятен для восстановления требуемого количества кремния. Теплота плавления — 400 кал., температура плавления — 1550° и наконец вязкость (6—7 пуазов при 1500°) удовлетворительна для бессемеровского чугуна.

Относительно количество шлака

$$556,96 : 909,09 = 0,61$$

достаточно, но не велико. Оно не меняется существенно от того количества MnO , которое может остаться невосстановленным. Считая, что это количество может доходить в этом случае до $\frac{1}{4}$, найдем, что в шлак перейдет:

$$0,25(1745,6 \cdot 0,007 + 0,25) 71 : 55 = 4,03 \text{ MnO},$$

что составляет лишь $0,75\%$ веса шлака.

В чугун перейдет:

$$0,75(1745,6 \cdot 0,007 + 0,25) = 9,36 \text{ или } 1\% \text{ Mn}.$$

В действительно выплавляемых в Англии гематитах обыкновенно заключается Mn несколько менее 1% , так как среднее содержание его в испанском буре железняке менее указываемого нашим анализом.

17. Следующим примером мы выберем расчет флюса для выплавки на коксе ферросилиция из сварочного шлака исключительно, задаваясь 42% SiO_2 в шлаке, как это делалось прежде на некоторых заводах юга СССР.

Расход донецкого кокса — 2,5; состав кокса и флюса — прежние; состав сварочного шлака дан ниже.

	SiO_2	Al_2O_3	$\text{CaO} + \text{MgO}$	Fe	Mn
Сварочный шлак	$80,0\%$	$0,5\%$	следы	53%	$0,4\%$

На 1000 кокса приходится ($\frac{1}{2}$ серы принимается улетучивающейся)

$$1000 : 2,5 = 400 \text{ чугуна.}$$

$$400 \cdot 0,85 = 340 \text{ Fe в нем;}$$

$$400 \cdot 0,12 = 48 \text{ Si (соответственно } 102,13 \text{ SiO}_2\text{);}$$

$$0,5 \cdot 26,25 = 13,13 \text{ CaO;}$$

$$0,5 \cdot 33,75 = 16,88 \text{ CaS;}$$

$$340 : 0,53 = 641,51 \text{ сварочного шлака.}$$

Для более точного учета окислов, переходящих в шлак, в этом случае необходимо принять во внимание улетучивание составных частей шихты; наиболее летучей из них оказывается SiO_2 , и мы примем, что, приблизительно, его нехватает 15% по сравнению с другими составными частями шлака (не считая серы, которой остается лишь $\frac{1}{2}$). При таком предположении кокс и сварочный шлак дают флюсующихся окислов:

$$0,85(43,0 + 641,51 \cdot 0,3) - 102,13 = 98,00 \text{ SiO}_2$$

$$22,5 + 641,51 \cdot 0,005 = 25,71 \text{ Al}_2\text{O}_3$$

$$6,00 \text{ CaO}$$

$$1,40 \text{ MgO}$$

$$16,88 \text{ CaS}$$

$$49,99.$$

Наш флюс имеет свободных окислов, кроме SiO_2 :

$$(0,5 + 53,2 + 0,95) - 0,85 \cdot 1,5 \cdot 58 : 42 = 52,89.$$

А 98 SiO_2 в шлаке требуют этих окислов:

$$98 \cdot 58 : 42 = 135,33.$$

Откуда потребность во флюсе:

$$(135,33 - 49,99 + 13,13) : 0,5289 = 186,2.$$

Действительно, только что определенное количество флюса дает:

$0,85 \cdot 186,2 \cdot 0,015 + 98,00 = 100,37$	SiO_2	или 42,00%
$186,2 \cdot 0,0095 + 25,71 = 26,64$	Al_2O_3	" 11,15 "
$186,2 \cdot 0,532 + 6 - 13,13 = 91,93$	CaO	" 38,46 "
$186,2 \cdot 0,0095 + 1,4 = 3,17$	MgO	" 1,33 "
16,88	CaS	" 7,06 "

Всего шлака 238,99	или 100,00%
--------------------	-------------

Относительное количество шлака — $238,99 : 400 = 0,6$ — совершенно достаточно для работы на ферросилиций, а состав шлака, благодаря низкому значению суммы RO , весьма облегчает восстановление Si ; теплота и температура плавления шлака не высоки — всего 355 кал. и 1315° , — но, благодаря сильно нагретому дутью и усиленному расходу кокса, это не мешает сосредоточению высокой температуры в области восстановления кремния.

Ничтожное количество марганца, которое заключается в сварочном шлаке, будет восстановлено почти вполне, так что состав и количество шлака не изменятся присутствием MnO .

ОГЛАВЛЕНИЕ

Расчет доменных шихт	Стр. 3
Свойства доменных шлаков и приемы расчета шихт	3
I. Физические свойства и химический состав доменных шлаков	8
II. Приемы расчета шихт	71
Полный расчет шихт	78
I. Литейный чугун	78
II. Зеркальный чугун и ферроманган	88
III. Гематит и бессемеровский чугун	96
IV. Томасовский чугун	108
V. Мартеновский чугун	116
Упрощенные приемы, применяемые при расчете шихт	125
I. Стехиометрический прием расчета	125
II. Расчет по отношению $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO}$	135
III. Расчет по отношению $\text{RO} : \text{SiO}_2$	142
IV. Расчет по содержанию только одной из главных составных частей шлака или сумме некоторых	150