

Д. ГОТЛИБ

660.162.2

Г-736

К. У. Г. П. Б.
№ 31489

ОСНОВНЫЕ ПРИЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ХОДА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

НТИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ

НКТГ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

ПРОВЕРЕНА

1938

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

А. Д. ГОТЛИБ

Действительный член Института металлов

669162,2

Г. 736

Провер. 48 г.

1954-1955 гг.
ПЕРЕКИНЕНТАЧОВАНА

ОСНОВНЫЕ ПРИЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ХОДА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

146400

ПРОБЕЛ

БИБЛИОТЕКА
ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ИМ. СТАЛИНА
№

ОНТИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ

Харьков

НБ
УДУНТ
(НБТ)

1936

Библиографическое описание этого издания помещено в „Літописі Українського Друку“, „Картковому Репертуарі“ и других изданиях Украинской Книжной Палаты

55 - 3 (4) 2

Ответственный редактор инж. *И. В. Остапчук*
Техоформление *В. В. Бачинская*
Литредактор *Е. Н. Семих*
Корректор *А. Томилина*

Типо-циклография ДНТБУ, Харьков, Суздальск. ряды, 18/20. Уполномоченный Главлита № 3580. Зак. № 01354. Тираж 2.000. 6²/₈ печ. листа. В печ. листе 52.000 эк. Бум. 62 × 94. Вес 1 метр. столы 38 кг. Злавно в набор 14-ХІІ-36 г. Подписано к печати 9-ІІ-36 г.

НБ
УНТ
(ІІБТ)

ВВЕДЕНИЕ

Доменная печь может давать разные по составу чугуны с довольно резкими колебаниями в них примесей кремния, марганца, фосфора и серы. В зависимости от назначения чугунов, поэтому, в зависимости от содержания в них тех или иных примесей чугуны делятся на переделные (мартеновские, бессемеровские, томасовские), литейные (различных марок: №№ 00, 0, 1, 2, 3, 4) и специальные (ферромарганец, ферросилиций, шпигель, силико-шпигель и др.). Существуют установленные пределы анализов для каждого сорта чугуна (стандарт), и доменные печи должны выплавлять только такие чугуны, которые предусмотрены стандартом¹. Чугуны, не соответствующие стандарту, считаются браком или некондиционными, и использование таких чугунов в мартене, бессемере, томасе или в литейном производстве ведет к ухудшению количественных и качественных результатов этих производств и, следовательно, к убытку для всего народного хозяйства в целом. Так, например, слишком высокое содержание серы или фосфора в мартеновском чугуне поведет к удлинению мартеновской плавки, перерасходу добавок и, очень часто, к ухудшению качества металла. Чрезмерное содержание фосфора или серы в бессемеровском чугуне всегда поведет к ухудшению качества металла и браку. Повышенное содержание кремния удлинит мартеновский или бессемеровский процесс, а недостаточное содержание кремния вызовет, например, в бессемере перерасход дорогостоящих добавок и т. д.

Доменщик должен, следовательно, вести печь таким образом, чтобы выплавить достаточно большое количество чугуна, и получить чугун вполне качественный, соответствующий той цели, для которой этот чугун предназначен, и притом с минимальным расходом материалов, особенно горючего.

Решение этой задачи представляется часто очень трудным, но не является невозможным. Трудность задачи обуславливается тем, что доменная печь — очень большой агрегат, а процессы, происходящие в ней, еще недостаточно точно изучены. То, что удается осуществить в лаборатории, в маленьких масштабах, не всегда точно может быть выполнено на таком большом и капризном агрегате, каким является доменная печь.

¹ Стандарт южных коксовых чугунов дается в конце книги (см. приложение).

Однако, при наличии такого рода трудностей доменные техники должны всегда хорошо знать хотя бы те ограниченные средства влияния на ход печи, которыми они располагают для того, чтобы пользоваться всеми этими средствами сознательно, уверенно, возможно более рационально и с пользой для производства.

Условия, которые в основном определяют работу домы и которыми можно, в большей или меньшей мере, влиять на нее, сводятся к следующим:

1. Состав шихты: количественное соотношение в ней горючего, рудной части, флюса и прочих добавок и химический состав этих материалов.

2. Механические и физические свойства материалов шихты: механическая прочность горючего и флюса, размер кусков материалов.

3. Порядок и способ подачи материалов в печь и загрузки их.

4. Количество, давление и температура дутья.

5. Количество, диаметр и высов фурм.

6. Профиль печи.

7. Дача через фурмы в горн разных добавочных материалов, быстро могущих и изменить состав шлака.

Некоторые из средств регулирования хода печи могут быть применены сразу же после того, как обнаружено, что в них есть необходимость (например, изменение состава шихты в отношении количества руды или флюса в ней, или же изменение количества, либо температуры дутья при наличии резерва воздушоудовных и воздухонагревательных средств). Другие средства могут быть проведены в жизнь лишь при ближайшем ремонте печи (например, изменение профиля печи, количества фурм и т. д.). Наконец, бывают и такие средства улучшения хода печи, осуществление которых представляет довольно сложную, требующую длительного времени, задачу (например, спекание, дробление и сортировка руд, улучшение механических свойств и химического состава кокса).

Выполнение этих более сложных мероприятий, улучшающих работу доменных печей, и составляет задачу аггломерационных фабрик, рудников, сортировочных станций, коксовых заводов.

Рассмотрение способов и возможностей применения всех этих средств, каждого в отдельности и нескольких одновременно, дает полное представление о работе доменной печи. Из этих условий будут вытекать основные технико-производственные обязанности техников и рабочих, обслуживающих печь.

Поэтому мы и начнем с рассмотрения первого средства управления ходом печи — с шихты. Расскажем что она собой представляет и как меняют ее для изменения хода печи.

Но для этого надо раньше уяснить два вопроса: а) роль шлака в доменном процессе, а также влияние количества и свойств его на результаты работы домы и б) как определить расход кокса на единицу чугуна.

ШЛАК И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАБОТУ ДОМНЫ

Известно, что железо в передельных и литейных чугунах, по анализу составляющее 92—94% всего чугуна, в свободном состоянии в природе, точно так же, как и большинство химических элементов, почти никогда не бывает.

Железо большей частью находится в природе в виде химических соединений с кислородом (окислы железа). Железная руда, в основном, состоит из окислов железа, но, кроме того, в ней имеются и другие окислы: кремнезем (соединение кремния с кислородом), глинозем (соединение алюминия с кислородом) и другие, составляющие так называемую пустую породу руды.

В доменной печи, при действии на окислы восстановительного газа СО и углерода, железо почти полностью восстанавливается. Кроме того, восстанавливаются весь фосфор, значительная часть марганца и небольшое количество кремния.

Железо, растворяя в себе кремний, марганец, фосфор и некоторое количество серы и углерода, образует сплав этих элементов — чугун.

При этом есть довольно большое количество окислов различных элементов, вовсе не восстанавливающихся в доменной печи или восстановившихся неполностью. Эти окислы содержались раньше в руде и золе кокса. Сюда относятся: почти весь кремнезем (так как восстанавливается, в большинстве случаев, лишь незначительная часть всего кремния), известная часть закиси марганца (так как марганец, хотя и восстанавливается в домне, но не полностью, а часть его остается невосстановленной в виде закиси марганца), весь глинозем (алюминий в домне вовсе не восстанавливается), известь и магнезия (это — окиси элементов кальция и магния, которые тоже не восстанавливаются в домне), небольшое количество закиси железа (железо почти полностью восстанавливается, но небольшое его количество остается связанным с кислородом в виде закиси железа).

Все эти окислы вместе образуют побочный продукт доменного производства — доменный шлак, который в жидком виде должен быть выпущен из печи. Как будет видно из дальнейшего, для удовлетворительной работы домны нужно, чтобы в шлаке было достаточно много извести, а содержание ее в рудах, в большинстве случаев, недостаточно. Поэтому для придания шлаку должных состава и свойств в шихту вводят еще известняк (флюс), содержащий 50—54% извести.

Кроме кремнезема, глинозема, извести, магнезии, закиси марганца и закиси железа, в шлаках доменной плавки на коксе всегда содержится несколько процентов сернистого кальция (химическое соединение элемента серы с элементом кальция).

Происхождение этого вещества следующее: серу, входящую в доменную печь с шихтой (главным образом с коксом), нельзя допустить в чугун, поэтому она должна быть переведена в шлак. Для этого она должна входить в такое химическое соединение.

которое вовсе не растворялось бы в чугунах и хорошо растворялось бы в шлаке. Таким соединением является сернистый кальций, образование которого в доменной печи идет тем успешнее, чем больше извести в шихте, чем выше расход кокса и чем выше нагрев дутья. Сернистый кальций также растворяется в шлаке тем в большем количестве, чем больше в шлаке извести и чем выше температура самого шлака.

Мы можем изобразить химическими формулами все составные части доменного шлака. Они даны в приводимой ниже таблице, с указанием примерного содержания их в шлаках важнейших чугунов, выплаваемых на юге СССР из криворожских руд на донецком коксе (см. табл.). Из таблицы видно, что шлаки не могут резко меняться в своем составе и что каждому составу чугуна должен, при данных условиях сырья и топлива, соответствовать шлак вполне определенного состава. Почему это так?

Чугуны, как говорилось, отличаются, в основном, содержанием кремния, марганца и серы (иногда и фосфора). Большее или меньшее восстановление кремния и марганца, большая или меньшая степень шлакования серы зависят также и от состава доменного шлака, и от количества его на единицу чугуна.

Даже производительность печи, скорость схода материалов в ней также зависят от состава и количества образующегося доменного шлака.

Химические соединения, входящие в состав шлака		Примерное процентное содержание этого соединения в шлаках домен юга СССР, работающих на криворожской руде	
Название	Обозначение	При выплавке мартеновского (или бессемеровск.) чугуна	При выплавке литейного чугуна № 1
Кремнезем	SiO ₂	35 — 39	32 — 34
Глинозем	Al ₂ O ₃	7,5 — 12	10 — 14
Закись железа	FeO	0,3 — 1,0	0,2 — 0,5
Закись марганца	MnO	1 — 2,5 *	0,3 — 0,6
Магнезия	MgO	1 — 3	1 — 3 **
Известь (окись кальция)	CaO	40 — 44	44 — 46
Сернистый кальций	CaS	4 — 7	4 — 8

Следовательно, шлак — не простой побочный продукт, который, являясь неизбежным злом при производстве, должен быть удален из печи и как-нибудь утилизирован. Он к тому же еще и могущее орудие ведения технологического процесса. От умения обращаться с этим орудием зависят результаты работы домы.

Мы отмечали уже выше роль содержания извести в шлаке при растворении им серы (или сернистого кальция): чем в шлаке

Шлак при выплавке мартеновского чугуна всегда содержит больше закиси марганца, чем шлак при выплавке бессемеровского чугуна.

* При вводе в шихту больших количеств мартеновского шлака и доломитизированных известняков, содержащих высокий процент MgO, содержание последнего в шлаке может быть выше 3%, о чем подробнее см. ниже.

больше извести, тем он больше растворит сернистого кальция и тем, следовательно, меньше серы будет содержать чугуи. С другой стороны (при плавке на коксе в наших условиях), чем шлак содержит больше извести, тем он имеет более высокую температуру плавления, т. е. переходит в домне в жидкое состояние (плавится) позже, в более низких горизонтах печи. Оборот, шлак, содержащий меньше извести и больше кремнезема, будет расплавляться раньше и, быстро стекая из верхних горизонтов печи в горн, будет приходить туда уже холодным, мало согретым, отчего будет охлаждать горн.

Следовательно, известковые шлаки соответствуют более высокой температуре горна, а кремнеземистые — более низкой. Для восстановления кремния требуется очень высокая температура и довольно большое количество тепла. Поэтому (в условиях юга СССР) при производстве кремнистых чугунов держат шлаки сравнительно более богатые известью и бедные кремнеземом, что можно видеть и из двух последних колонок приведенной таблицы, где для литейного чугуна, содержащего 2,75—3,25% кремния, указан шлак, содержащий больше извести и меньше кремнезема, чем для мартеновского чугуна, имеющего 0,5—1,5% кремния. Надо еще добавить, что восстановлению кремния значительно способствует глинозем, почему его желательио иметь в шлаке тем больше, чем больше кремния требуется перевести в чугун.

Однако, очень важную роль в работе печи играет еще и степень текучести или, наоборот, густоты шлака. Чем шлак жиже, тем он легче будет стекать в горн и выходить наружу при выпуске. Густой шлак будет медленно спускаться, задерживая ход печи. При выпуске он тоже будет течь с трудом. При таком шлаке печь с трудом принимает дутье, давление дутья поднимается, подачи сходят очень медленно, и медленно печь принимает новые подачи. При этом всегда густой шлак может легко намазать стенки печи, вызвать „зависание“. Загущению таких шлаков в горне особенно способствует коксовый мусор. Кроме того, рудная мелочь и пыль, коксовый и известняковый мусор, способствуя „зависанию“ печи, приводят к таким же результатам работы, как и густой шлак.

В наших условиях, чем в шлаке больше извести, тем он гуще, чем в нем больше кремнезема, тем он жиже, так что при достижении известного предела содержания извести (например, при 48% CaO и 7% CaS) шлак может уже вовсе не выйти из печи и загромоздить горн. Следовательно, повышать содержание извести в шлаке допустимо только до известных пределов.

Если, например, серы в шихте так много, что, несмотря на достаточно высокое (и близкое к пределу) содержание извести в шлаке, он все еще не может растворить серу в таком количестве, чтобы обеспечить вполне чистый от серы чугун, приходится идти на увеличение количества шлака и таким путем увеличивать общее количество серы, уводимой шлаком. Дости-

гается увеличение количества шлака переходом на более бедные железом (и богатые пустой породой) руды, что влечет перераход кокса и известняка, вызывая понижение производительности печи и повышение себестоимости чугуна. При увеличенном количестве шлака чугун получится чистый по сере и ровный по составу. Между прочим, и получение „горячих“ (кремнистых) чугунов облегчается при повышенном количестве шлака.

Мы рассмотрели влияние кремнезема и извести в шлаке на растворение в нем серы, на восстановление кремния и марганца, на температуру горна и на ход печи. Надо указать еще, как влияют на свойства шлака изменения содержания в нем остальных его составных частей.

Среди них особенно должны быть отмечены глинозем и магнезия.

Глинозем в доменных шлаках вообще способствует понижению температуры плавления шлака и понижению количества тепла, нужного для его расплавления. Однако, особенно важно то, как глинозем влияет на текучесть шлаков. Оказывается, что при одном его количестве в шлаке дальнейшее его процентное увеличение способствует разжижению шлака, а при другом, наоборот, загущению. Практически, в условиях доменной плавки на криворожских рудах (содержащих немного глинозема), когда в шлаке бывает не более 11% глинозема, увеличение его содержания улучшает шлак и потому весьма желательно.

Содержание глинозема в доменных шлаках при проплавке криворожских руд иногда достигает и 14%, но это бывает сравнительно редко и поясняется проплавкой более глиноземистых руд (см. классификацию руд).

Глинозем, в повышенных количествах обеспечивает „устойчивость“ доменных шлаков. Эти шлаки отличаются тем, что они при изменении содержания, например, кремнезема и извести, в таких количествах, как это бывает очень часто в работе доменной печи, мало изменяют свои физические свойства. Мало изменяется вязкость и температура плавления шлаков. Шлаки хорошо вытекают из печи. Получается более ровный ход печи, повышенная производительность ее и более ровный состав чугуна.

Магнезия делает шлаки более устойчивыми в отношении вязкости при изменении их состава. Поэтому ввод в шахту веществ с повышенным содержанием магнезии крайне желателен.

Надо отметить еще, что увеличение текучести шлака, путем введения в него должных количеств глинозема и магнезии, полезно не только потому, что это обеспечивает ровный ход печи, ровную производительность ее и ровный состав чугуна. Оно еще полезно с точки зрения растворения серы в шлаке. Хотя глинозем и магнезия сами по себе мало связывают серу, но они, разжижая шлак, делают его более подвижным и потому более „активным“, т. е. лучше растворяющим в себе разные вещества, в том числе и соединения серы. Однако, и слишком жидкие шлаки тоже нежелательны при постоянной работе, так как могут

размыть кладку. Поэтому стремление работать на жидких шлаках должно при составлении шихты иметь свои границы.

Остальные два окисла, входящие в шлак — закись железа и закись марганца,— содержатся в нем в очень небольших количествах и, являясь остатками от восстановления марганца и железа, особого влияния на ход печи не имеют. Закись марганца разжижает шлак и увеличивает растворимость в нем серы, но она разъедающе действует на огнеупорную кладку печи и потому вредна, если бывает долгое время в избытке. Присутствие увеличенных количеств закиси марганца и закиси железа внешне можно узнать по окраске шлака в голубой или зеленый (до черного) цвет. Этот свидетельствует о том, что в печи недостаточно тепла для должного восстановления железа и марганца. Поэтому они, не восстановившись, перешли в шлак.

Все окислы химических элементов принято делить на две группы: основные и кислые, в зависимости от ряда свойств, на которых мы теперь останавливаться не будем. Из окислов, входящих в состав доменного шлака, кремнезем является кислотным, а известь, магнезия, закись железа и закись марганца — основными. Что касается глинозема, то он в разных количествах разнo проявляет свои свойства. В условиях доменной плавки юга СССР он считается кислотным окислом, но со слабо выраженными кислотными свойствами. Поэтому, чем шлак богаче кремнеземом или глиноземом, тем он кислее. Чем он богаче известью или магнезией, тем он более основной.

Степень основности шлака исчисляются как отношение (частное от деления) суммы всех оснований в шлаке к сумме его кислот. Если, например, шлак имеет состав: SiO_2 — 36%, Al_2O_3 — 10%, CaO — 44%, MgO — 3%, MnO — 1,5%, FeO — 0,5%, CaS — 5%, то степень основности его можно вычислить так:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{FeO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{44 + 3 + 1,5 + 0,5}{36 + 10} = 1,065$$

Иногда, считая, что MgO , MnO и FeO в шлаке очень немного, а Al_2O_3 , хотя это и кислотный окисел, но с очень слабо выраженными кислотными свойствами, пренебрегают для простоты вычислений, всеми этими соединениями и определяют степень основности шлака по отношению извести (важнейшее основание) к кремнезему (важнейшая кислота). Например, в рассматриваемом случае это отношение будет:

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = \frac{44}{36} = 1,22.$$

Конечно, такой способ характеристики шлака может дать только первое и приближенное представление о его свойствах.

Из всего сказанного следуют такие практические, в наших условиях работы, выводы: 1) более основному (т. е. с большим

значением отношения) шлаку соответствует более высокая его температура плавления и выпуска, более медленный и тугой ход печи, получение более богатых кремнием чугунов, сравнительно большая чистота этих чугунов от серы. Такие шлаки трудно выпускать из печи, они могут вызвать замедленный ход печи и иногда даже зависание; 2) более кислому (с малыми значениями отношения оснований к кислотам) шлаку соответствует более низкая его температура, быстрый ход печи, не очень горячий горн, получение чугуна с низким содержанием кремния и марганца. При очень кислых шлаках, содержащих много кремнезема и мало серы, возможно увеличенное содержание в них закиси железа и закиси марганца и увеличение содержания серы в чугуне. Это уже переход к сырому (стылому, холодному) ходу печи и получению чугуна - брака.

Рассматривая приведенную выше таблицу с примерными составами шлаков и изображая степень их основности самым простым способом (отношением извести к кремнезему), можем, например, привести такие два крайние по степени основности шлака:

очень основной: $\text{CaO} - 46\%$, $\text{SiO}_2 - 32\%$,

$$\text{отношение } \frac{46}{32} = 1,44;$$

очень кислый: $\text{CaO} - 40\%$, $\text{SiO}_2 - 38\%$,

$$\text{отношение } \frac{40}{38} = 1,05.$$

Практически у нас на юге применяются шлаки, в которых отношение извести к кремнезему колеблется в этих пределах (грубо: от 1,1 до 1,5). По мере перехода от малокремнистого мартеновского чугуна к кремнистым литейным или специальным отношение это, следовательно, возрастает.

РАСХОД КОКСА

Кокс является почти единственным горючим, применяемым в доменной плавке. Иногда (например, у нас на Урале) применяется древесный уголь и совсем редко антрацит или каменный уголь. Предполагают также (у нас в центре СССР) вести плавку на торфяном коксе и на сыром торфе.

На юге СССР почти повсеместно плавка ведется на коксе. Горючее в доменной печи ценно, прежде всего тем, что в нем содержится элемент — углерод (С), используемый в печи в двух направлениях: во - первых, углерод этот (или соединение его с кислородом — СО) способен, в условиях доменной печи, восстанавливать железо, марганец, кремний и др., обеспечивая переход их в чугун; во - вторых, углерод горючего, сгорая, т. е.

соединяясь с кислородом воздуха у фурм, выделяет известное количество тепла, которое нужно для того, чтобы обеспечить в печи нормальное протекание процессов (при соответствующих температурах).

Кроме углерода, в коксе содержатся зола, влага, некоторое количество газообразных летучих веществ и, наконец, сера. Желательно, чтобы всех этих веществ было поменьше, особенно — серы и золы.

От кокса требуется безусловная прочность и незасоренность мелочью (менее 30—40 мм). Слабый кокс легко перетирается, давая мелочь и мусор, которые потом забивают в печи проходы для газа и загущают шлак, создавая зависания, или вовсе расстраивая ход печи.

Расходом кокса называется весовое количество кокса, расходуемое на 1 весовую единицу чугуна. Выражается расход кокса или отвлеченным числом (например, расход кокса 0,9 значит, что на 1 весовую единицу чугуна, получаемого из доменной печи, надо израсходовать 0,9 весовых единиц кокса), или количеством килограммов кокса на 1 тонну чугуна (например, 900 кг на 1 тонну).

Для расчета доменной шихты, т. е. для установления количества загружаемых в печь материалов, нужно, прежде всего, правильно установить расход кокса. Если дать величину расхода кокса слишком низкую, в печи не хватит тепла, она пойдет холодно, получится сернистый, густой чугун, содержащий недостаточное кремния и марганца. Если назначить слишком большой расход кокса — может получиться чугун с излишним содержанием кремния, увеличатся расходы на выплавку чугуна и на дальнейший его передел, снизится производительность домны и возможно даже некоторое расстройство хода ее. Следовательно, расход кокса надо определить, по возможности, точно и в меру.

Для этого необходимо хорошо учесть, как различные обстоятельства влияют на расход кокса, увеличивая или уменьшая его. Постараемся рассмотреть степень влияния каждого из обстоятельств на расход кокса.

1. На расход кокса влияет, прежде всего, состав и свойства самого кокса. Увеличение содержания в нем углерода на 1% снижает расход его, приблизительно, на 12—15 кг на тонну чугуна, а уменьшение углерода соответственно увеличивает расход кокса. Кроме того, каждый лишний 1% золы в коксе увеличивает расход кокса на 6—7 кг на тонну чугуна. Каждая 0,1% серы в коксе многосернистом (т. е. содержащем серы более 1,5%) увеличивает его расход на 15—20 кг, а при малосернистом (содержащем менее 1,5% серы) — на 5—8 кг. При уменьшении содержания серы имеем обратное явление. Увеличение мусорности кокса или ослабление его прочности на истирание, также увеличивает расход кокса, но точно в цифрах выразить эти изменения затруднительно. Что касается содержания в коксе влаги и летучих веществ, то присутствие их не требует добавочного расхода

углерода и они увеличивают расход кокса лишь постольку, поскольку увеличение их процентного содержания в коксе вызывает понижение процентного содержания в нем углерода¹.

2. Расход кокса зависит также от состава проплавляемого чугуна. Общеизвестно, что восстановление кремния и марганца требует повышенного количества тепла — больше, чем, например, восстановление железа. Поэтому, чем больше кремния или марганца в чугуне, тем больше будет расход кокса. Приблизительно на каждый лишний 1% кремния в чугуне добавочно надо кокса около 100 кг на тонну чугуна, а на каждый лишний 1% марганца — около 20 кг на тонну чугуна. Уменьшение содержания серы в чугуне тоже требует добавочного расхода кокса, приблизительно, около 10—20 кг кокса на тонну чугуна, на каждую 0,01% серы в чугуне.

3. Химический состав шихты и состав получаемого шлака также влияют на расход кокса. Чем меньше железа и больше пустой породы содержится в рудной сыпи, тем больше будет шлака на единицу чугуна. Так как шлак этот в печи приходится расплавить и перегреть до температуры выпуска (1400—1500°) и к тому же еще расходовать тепло на разложение известняка, то увеличение количества шлака на единицу чугуна вызывает и увеличение расхода кокса. Если, например, выход шлака по весу (от веса чугуна) увеличивается от применения более кремнеземистой руды на 0,1 (т. е. вместо 0,5 станет, например, 0,6), то при этом расход кокса увеличивается, приблизительно, на 50 кг на тонну чугуна, или, иными словами, — на каждый 1 кг шлака требуется израсходовать около 0,5 кг кокса. При этом надо, однако, учитывать, что некоторое (минимальное) количество шлака все же является необходимым при плавке чугуна. Если держать количество шлака ниже этого минимума, чугун будет крайне неровный по составу и температуре и к тому же сернистый, так как шлака будет недостаточно для поглощения серы. Практически считается в наших условиях минимальным при плавке мартеновского и бессемеровского чугунов 40—50% шлака от веса чугуна, при плавке литейного — 50—60%. Лишь увеличение количества шлака сверх этого следует считать увеличивающим расход кокса. Подсчитывать дополнительный расход кокса, связанный с увеличением количества шлака, в таком случае следует так, как указано выше. На литейные чугуны приходится держать количество шлака несколько большее, чем на передельные, во-первых, потому, что от литейных чугунов требуется большая чистота от серы и, во-вторых, для того, чтобы обеспечить повышенное содержание кремния, требуемого составом литейного чугуна. Восстановление же кремния тем легче и сохранение восстановленного кремния в чугуне тем больше обеспечено, чем больше шлака приходится на единицу чугуна.

¹ Речь идет, конечно, об обычных содержаниях влаги и летучих веществ в коксе.

На расход кокса влияет и состав шлака, в частности — содержание в нем извести. Чем больше содержит шлак извести, тем выше температура его плавления, т. е. тем больше тепла нужно на его расплавление. Однако, перерасход кокса по этой статье не очень велик и учитывается отмеченными нами выше коэффициентами.

4. Серьезным фактором, влияющим на расход кокса в доменной печи, является нагрев дутья. Печи, работавшие на холодном дутье (до изобретения нагрева), имели расход кокса, раза в два с лишним превосходящий современный. Нагретым дутьем вносится в горн известное количество тепла, благодаря чему можно соответственно уменьшить количество сгорающего углерода, следовательно, сократить расход кокса. Кроме того, с уменьшением количества сгорающего кокса уменьшится и относительное количество газов на тот же вес руды, вследствие чего газы будут лучше отдавать шихте свое тепло и уходить из печи более холодными. Следовательно, при нагреве дутья уменьшатся и потери домной тепла в колошник, что даст лучшую степень использования тепла в печи и сокращение расхода кокса.

Уменьшение расхода кокса с увеличением нагрева дутья, однако, не одинаково в разных интервалах температур. Найдено, что если при нагреве на первые 200° экономится, например, 40% всего кокса, то при нагреве дутья с 600° до 800° экономия кокса уже может составить всего только 7—10%. При нагреве свыше 850°—900° уже практически вовсе не наблюдается экономии в коксе. Для каждого сорта чугуна, при данном профиле и заданном сырье и топливе определенного качества, существует своя, наиболее выгодная, температура дутья. Снижение этой температуры вызывает увеличение расхода кокса, а подъем выше этой температуры не дает уже особенно заметного эффекта и иногда вызывает замедление хода печи, либо ее зависания. Например, в условиях юга СССР считается, что при наших неподготовленных материалах и профилях печей наиболее подходящие температуры: для мартеновского чугуна 550—650°, для бессемеровского 600—700° и для литейных выше 650°. Снижение этих температур на 100° ведет к повышению расхода кокса на 100—120 кг на тонну чугуна, а повышение сверх этих температур — к зависаниям, особенно при пологих залечиках, основных шлаках, пылевой руде и мусорном или слабом коксе.

5. Большое влияние на расход кокса оказывает физическое состояние руды и известняка. Крупные куски известняка и руды вредны для работы печи, и поэтому дробление их ведет к уменьшению расхода кокса. Сортировка руды на фракции по размеру кусков (таким образом, чтобы кусковатость в каждой фракции была более или менее равномерная) и подача руды отдельными фракциями также ведет к уменьшению расхода кокса, вследствие лучшей проницаемости шихты для газов-восстановителей. Наконец, окускование (например, аггломерация) пылеватых руд

ведет к уменьшению расхода кокса. Так как пылеватая руда легко слеживается и печи неплохо проницаема для газов, железо из нее восстанавливается плохо. Агломерат же кусковой, к тому еще и пористый, представляет собой легко проницаемый материал.

Так, например, по немецким данным увеличение количества агломерата в шихте с 11,6% до 28,4% дало снижение расхода кокса на 214 кг на тонну чугуна. По американским данным, увеличение расхода агломерата с 44% в шихте до 68% также дало снижение расхода кокса с 955 кг до 740 кг, т. е. на 215 кг на тонну чугуна.

Работа на кусковой руде на Сулинском заводе дала уменьшение расхода горючего на 11%. Работа печей на сортированной шихте, с фракционированием всей руды на 2-3 фракции, по опытам, проведенным в США, дает, при сортировке руды на 2 сорта по кусковатости, уменьшение расхода кокса на 11—13%, а при сортировке на 3 фракции—на 18%. К тем же, примерно, выводам пришли недавно и в Германии¹.

6. Расход кокса зависит и от производительности печи. В количестве расходоуемого доменной печью тепла немалую роль играет тепло, теряемое печью в атмосферу и с охлаждающей водой. Ясно, что эти потери остаются одинаковыми из минуты в минуту, из часа в час и не зависят от производительности данной печи. Если, следовательно, производительность печи в сутки увеличится, а общая сумма потерь тепла в это же время останется неизменной, то потери тепла на единицу чугуна станут меньше, и, следовательно, расход кокса уменьшится. Точно также должен уменьшиться расход кокса и при увеличении диаметра горна старых печей, и при постройке новых печей большой производительности, так как увеличение потерь тепла наружу будет при этом возрастать не так резко, как производительность.

Однако, чрезмерное форсирование хода домны уже может не дать ожидаемого снижения расхода кокса. Объясняется это тем, что при получении очень большого количества чугуна из агрегата данных размеров увеличивается и количество сжигаемого в единицу времени на фурмах кокса, т. е. и количество образующихся в горне газов. Газы эти будут двигаться вверх с большой скоростью, отчего хуже будут отдавать тепло шихте и хуже будет использована их восстановительная способность. Они уйдут из печи в колошник еще при довольно высокой температуре и унесут с собой значительное количество тепла. Выразить в цифрах зависимость расхода кокса от изменения производительности печи очень трудно, но, зная, что на потери тепла в атмосферу и с водой расходуется, примерно, до 10—12% всего приходуемого печью тепла² можно указать, что потери эти

¹ Подробнее об этом см. в разделе „Влияние состава шихты и ее свойств на работу домны“.

² Это для передельных чугунов. Для литейных больше 12—16%. Для специальных чугунов еще больше — 16—25%.

146400

обратно пропорциональны производительности, т. е. будет меньше во столько же раз, во сколько раз больше станет производительность печи. Например, если печь на тонну чугуна расходовала тонну (1000 кг) кокса и затем производительность увеличилась на 20% (т. е. стала больше в 1,2 раза), то, приняв во внимание, что на потери раньше шло 100 кг (10%) кокса, будем теперь считать, что на те же потери уйдет кокса: $100:1,2=83$ кг. Следовательно, расход кокса сократится на 17 кг. При этом несколько увеличится потеря тепла в колошник и мы экономим кокса примем не 17 кг, а в 10—15 кг на тонну чугуна. Уменьшение расхода кокса от увеличения производительности уже учтено в тех коэффициентах, которые мы дали выше для влияния состава кокса и чугуна, нагрева дутья и других факторов на расход кокса.

7. Существенно влияет на расход кокса в доменной печи и профиль самой печи, но дать какие-нибудь показатели влияния профиля на расход горючего трудно. Известно, что для каждой марки чугуна при заданных сырых материалах существует наиболее рациональный профиль. Отступления от него приведут и к снижению производительности, и к увеличению расхода кокса. Между прочим, искажения профиля печи, имеющие место по мере работы печи и особенно сказывающиеся уже перед концом ее кампании, вызывают всем известное увеличение расхода кокса на 20—50% в последние недели до выдувки печи. (Несколько повышенный расход кокса в начале кампании печи объясняется дополнительным расходом тепла на прогрев всей кирпичной кладки печи и лещади).

8. Есть еще ряд моментов, влияющих на расход кокса, но учесть все эти моменты очень трудно. Сюда относятся: степень влажности атмосферного воздуха, потому что влага (H_2O) воздуха в печи разлагается на водород и кислород, а это разложение требует тепла. Ввод в шихту скрапа, стружки или вообще металлической добавки снижает расход кокса на единицу получаемого чугуна, так как чугун из самого скрапа надо только расплавить (не восстанавливая железа и не ошлаковывая пустую породу), что требует всего лишь 200—250 кг кокса на тонну полученного из скрапа или иной металлической завалки чугуна.

В большинстве рассмотренных случаев, связанных с изменением физических свойств шихты, условий загрузки, условий распределения шихты или газов в печи, мы имели улучшение обработки шихты и лучшее использование тепла газов и их восстановительной способности. Во многих еще случаях, перечислить которые не представляется возможным, лучшее использование газов дает снижение расхода кокса. Обнаружить это лучшее использование газов можно по содержанию в них углекислоты (CO_2). Чем выше процент последней в газе, тем ниже должен быть расход кокса. Подсчитано, что увеличение содержания CO_2 в колошниковом газе на 1%, вследствие лучшего использования восстановительной способности газов в печи, снижает расход

кокса, приблизительно, на 0,05 на единицу чугуна, т. е. на 50 кг кокса на 1000 кг чугуна¹.

Надо, однако, при вычислениях расхода кокса с соответствующими поправками иметь в виду, что во всех предыдущих случаях, где давались коэффициенты этих изменений (например, от изменения нагрева дутья, или от ввода в шихту аггломерата, или от сортировки руды) повторных поправок на изменение расхода кокса от изменения в газе процента CO_2 вводить не следует, так как эта поправка уже вошла в предложенные величины. Такую поправку следует вводить только в тех случаях, когда известно изменение процента CO_2 в газе, но когда коэффициенты для поправки по другому показателю не даны (например, в случае изменения прочности кокса, или от изменения профиля печи и др.).

Зная расход кокса для средних условий, можно, учитывая значение указанных факторов, подсчитать, каков мог бы быть расход кокса при измененных условиях производства.

Пусть, например, известно, что при некоторых условиях для производства чугуна, содержащего 2% Mn (марганца) и 1% Si (кремния), при коксе, содержащем 80% C (углерода) и 2% S (серы), расход кокса составлял 1000 кг на тонну чугуна. Спрашивается, какой будет расход кокса для чугуна, содержащего 1% Mn и 3% Si при коксе, имеющем 84% C и 1,5 S?

Решаем задачу так:

1. Уменьшение содержания Mn на 1% снизит расход кокса на 20 кг на тонну чугуна.

2. Увеличение содержания Si на 2% увеличит расход кокса на $2 \cdot 100 = 200$ кг на тонну чугуна.

3. Увеличение содержания C в коксе на 4% сократит расход кокса на (среднее между 12 и 15 кг) $13 \cdot 4 = 52$ кг на тонну чугуна.

4. Уменьшение содержания серы в коксе на 0,5 уменьшит расход кокса на (среднее между 15 и 20 кг) $17 \cdot 5 = 85$ кг на тонну чугуна.

Всего имеем: увеличение расхода кокса на 200 кг; уменьшение расхода кокса на $20 + 52 + 85 = 157$ кг.

В результате имеем увеличение расхода кокса на $200 - 157 = 43$ кг, т. е. расход кокса будет составлять $1000 + 43 = 1043$ кг на тонну чугуна (или 1,043).

Рассмотрим другой пример.

Пусть при выходе шлака, равном 0,5 на единицу чугуна и при температуре дутья, равной 450° , расход кокса составляет 1000 кг. Каков будет расход кокса при количестве шлака 0,65 и температуре дутья 600° ?

1. От увеличения количества шлака на 150 кг (0,15) на тонну чугуна расход кокса увеличится на $150 \cdot 0,5 = 75$ кг.

2. От поднятия температуры дутья на 150° расход кокса снизится на $100 \cdot 1,5 = 150$ кг.

¹ Подробнее об этом см. в разделе „Влияние состава шихты и ее свойств на работу домы“.

Всего будем иметь снижение расхода кокса на $150 - 75 = 75$ кг и окончательный расход кокса составит $1000 - 75 = 925$ кг на одну тонну чугуна.

В ряде случаев нельзя точно высчитать изменение в расходе кокса приходится намечать эти изменения приближенно, корректируя, потом уже полученную цифру по тем показаниям работы, которые даст сама печь.

Надо отметить, что данные выше цифровые значения изменений расхода кокса, в зависимости от состава кокса и руды, от физических свойств шихты, нагрева дутья и других факторов относятся, конечно, не ко всякому коксу, а к среднему по качеству коксу юга СССР, содержащему около 83% углерода, 9—12% золы и 1,5% серы. Для лучшего кокса эти изменения будут немного меньше, а для худшего — соответственно больше.

СОСТАВЛЕНИЕ ШИХТЫ

Загружаемые материалы состоят из кокса, руды, известняка и прочих материалов и добавок (мартековский, бессемеровский или сварочный шлак, марганцевая руда, кварцит, скрап и др.), могущих входить в шихту. В зависимости от химического состава этих материалов и их количественного соотношения в шихте, можно получить тот или иной по составу чугун. Так, например, при производстве кремнистого чугуна, требующего много тепла для восстановления кремния, сравнительно бедных руд и основных шлаков, повидимому, придется расходовать больше кокса и известняка и применять более бедную железом (и богатую шлакообразующей кремнистой пустой породой) руду, чем при выплавке малокремнистого, например, мартековского чугуна.

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

В основу расчета шихты, следовательно, надо положить известное количество кокса, расходуемое на производство чугуна, а также состав и количество шлака. Эти условия определяют расход руд и флюса, ход печи и содержание в чугуне кремния и серы. Содержание же в расходуемых материалах марганца и фосфора дополнительно определяют состав чугуна по этим элементам.

От правильного расчета шихты зависят ход печи и результаты производства.

Может быть много разных приемов расчета и подбора шихты. При применении разных сырых материалов и в зависимости от их ассортимента, возможны разные приемы расчета. В условиях юга СССР, при производстве чугунов из криворожских руд, с довольно однообразной по составу кремнистой пустой породой, при коксе из углей Донбасса, содержащем довольно высокий процент серы, в практических условиях весьма подходящим

будет предлагаемый ниже ход расчета. Этот расчет хорош будет и для уяснения сути самого процесса подбора шихты, так что, ознакомившись с этой схемой, можно будет довольно легко понять и другие, более сложные приемы, излагаемые в специальных книгах по расчету шихты.

Задача сводится к нахождению благоприятного количественного соотношения кокса, руд, флюса и прочих добавок в шихте.

Материалы загружаются в доменную печь в определенном порядке — „подачами“¹. Каждая такая „подача“ содержит полный набор всех материалов доменной шихты, взятых в весовых количествах, найденных расчетом. Последовательность загрузки материалов в печь обеспечивается тем, что сначала загружается найденное по расчету количество, например, кокса, затем соответствующее ему количество руды, известняка и добавок. Далее, снова то же количество кокса, опять то же количество руды и т. д.

Вес колоши определяется из условий правильного распределения материалов на колошнике, о чем подробнее речь позже. Во всяком случае, слишком малый вес колоши (т. е. тонкий слой руды, кокса), так же как и слишком большой ее вес, могут оказаться весьма вредными для хода печи. Надо остановиться в каждом конкретном случае на каком-то оптимальном весе колоши. Находится этот оптимальный вес практически, в результате наблюдений за работой доменной печи, на разных по весу колошах, но в качестве первого приближения можно принять такое положение: вес коксовой колоши должен быть таков, чтобы кокс (если предположить, что он равным слоем ляжет по всему сечению колошника) имел толщину слоя от 400 до до 800 мм. Количества же руды, флюса и добавок можно определить по количеству кокса в подаче — способом расчета, излагаемым ниже.

Пусть, например, диаметр колошника доменной печи равен 5 метрам. Тогда сечение колошника:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 5^2}{4} = 19,63 \text{ м}^2.$$

Если мы зададимся высотой коксовой колоши $h = 600 \text{ мм} = 0,6 \text{ м}$ (среднее из указанных крайних пределов), то объем коксовой колоши составит: $V = Fh = 19,63 \cdot 0,6 = 11,8 \text{ куб. м}$. Пусть вес 1 куб. м кокса $P = 470 \text{ кг}$. Тогда вес всей коксовой колоши составит:

$$P = pV = 470 \cdot 11,8 = 5546 \text{ кг},$$

округленно можно принять — 5500 кг (5,5 тонны).

Теперь следует определить, какое количество руды, флюсов и добавок нужно дать в шихту соответственно 5500 кг кокса. Надо, прежде всего, знать, какого состава чугуна требуется выплавить, какие по составу и свойствам имеются материалы в

¹ „Подачи“ иногда называют „колошами“.

нашем распоряжении, каков должен быть состав шлака. Надо еще при этом выбрать удачно и расход кокса на единицу чугуна, руководясь теми соображениями, которые были высказаны о выборе расхода кокса в предыдущей главе.

Пусть требуется выплавить мартеновский чугун, состав которого задан следующий:

Si Кремний	Mn Марганец	C Углерод	P Фосфор	S Сера	Fe Железо
В процентах					
1	2,2	3,6	0,15	0,05	93

Пусть в распоряжении доменного цеха для выплавки этого чугуна имеются кокс, два класса железной руды, мартеновский шлак, марганцевая руда и известняк. Анализы этих материалов следующие:

Кокс		
Зола	Сера	Углерод
В процентах		
10	1,7	87

Зола кокса			
Fe Железо	SiO ₂ Кремнезем	Al ₂ O ₃ Глинозем	P Фосфор
В процентах			
20	40	22	0,1

Руды железные криворожские ¹				
Классы	Fe Железо	SiO ₂ Кремнезем	Al ₂ O ₃ Глинозем	P Фосфор
В процентах				
2	65	6	1,5	0,03
6	59	14	2	0,04

Известняк			
CaO Известь	SiO ₂ Кремнезем	Al ₂ O ₃ Глинозем	P Фосфор
В процентах			
53,5	2,0	0,8	0,02

¹ Классификацию руд см. в приложении.

Мартеновский шлак					
Fe Железо	Mn Марганец	CaO Известь	SiO ₂ Кремнезем	P Фосфор	Al ₂ O ₃ Глинозем
В процентах					
9	11	36	23	0,4	2

Марганцевая руда ¹			
Mn Марганец	SiO ₂ Кремнезем	Al ₂ O ₃ Глинозем	P Фосфор
В процентах			
36	20	1	0,2

В анализах не указано содержание влаги (H₂O) в материалах. Объясняется это тем, что химические лаборатории дают всегда анализ сухих материалов, т. е. анализируют только высушенные пробы. Влага же в материалах определяется в отдельной пробе. Поэтому мы даем содержание влаги (сверх 100⁰/₀ сухих материалов) особо: в коксе — 4⁰/₀, в рудах железных — 2⁰/₀, в известняке — 2⁰/₀, в марганцевой руде — 10⁰/₀ (мартеновский шлак предположен сухой).

Приведенные анализы, конечно, неполные. В каждом материале есть еще составные части, содержание которых мы не указываем, так как они незначительны и не могут оказать существенного влияния на расчет шихты и на работу печи.

В очень точных расчетах шихт, конечно, учитываются все составные части загружаемых в печь материалов, но мы, имея в виду заводскую обстановку и предполагая, что расчет делает заводской работник, особой точности не придерживаемся. Различные отклонения (например, вследствие невозможности точно учесть вылет пыли по причине неточности анализов) делают особенную точность в расчете шихты излишней.

В расчете шихты могут встретиться два случая:

1. Когда имеется вполне определенный ассортимент классов железных руд, и поэтому руды можно расходовать только в известном соотношении, определяемом запасом каждого класса на складе цеха и его поступлением на склад. Именно такое положение очень часто имеет место в действительности, когда запас руды в заводе невелик, а соотношение классов заставляет расходовать их именно в таком количестве, в каком эти классы имеются, и поступают, чтобы потом не оказаться только с одним классом, не обеспечивающим нормальной работы печи.

¹ В последнее время иногда на мартеновский чугун, вместо марганцевой руды, дают отмоину от обогащения руды, содержащую более низкий процент Mn.

2. Когда есть на рудном дворе и могут быть получены различные классы руды и в разных количествах, доменщик должен выбрать такое соотношение классов руд в шихте, при котором получились бы наилучшие качественные и количественные результаты работы. Способ расчета в этом случае будет сложнее. Такой способ расчета применим, например, тогда, когда приходится заранее решать вопрос о том, в каких соотношениях надо затребовать данные классы руд для предстоящей работы цеха.

Ниже рассмотрим каждый случай расчета шихты в отдельности.

Прежде всего, в любом случае расчета задаемся анализом шлака, соответствующим качеству выплавляемого чугуна. Ранее были приведены примерные анализы доменных шлаков для передельных чугунов. Из анализов видно, что для мартеновского чугуна содержание важнейших составных частей шлака следующее:

SiO_2 — 35 — 39%, CaO — 40 — 44% (в условиях работы на криворожских рудах, коксе Донбасса и известняке Донбасса или Криворожья).

Мы выбрали чугун малокремнистый (нужен шлак не очень основной), но зато и малосернистый (нужен шлак не очень кислый); поэтому следует остановиться и на некотором среднем составе шлака: берем кремнезема — 37%, извести — 41%.

Случай первый. 1. Предположим, как говорилось выше, что ассортимент руд задан. Пусть мы располагаем рудами обоих классов в равных, примерно, запасах, так что оба класса — 2-й и 6-й — должны браться в шихту в равных, приблизительно, количествах.

Если из этих двух руд составить смесь, то среднее содержание железа в смеси будет:

$$\frac{65 + 59}{2} = 62\%$$

Среднее содержание кремнезема в той же смеси:

$$\frac{6 + 14}{2} = 10\%$$

2. Расход кокса при выплавке мартеновского чугуна, при условии приведенных составов сырья и при средних физических и механических качествах кокса, руды и известняка, может быть принят, на основании практических данных, равным 1 (т. е. 1000 кг на тонну чугуна).¹ Тогда, если примем, как рассчитано выше, вес кокса в колоше 5500 кг, то количество чугуна из подачи также должно составлять 5500 кг.

В этом чугуне должно быть железа (93%)

$$\frac{5500 \cdot 93}{100} = 5115 \text{ кг.}$$

¹ Шихта составлена без участия в ней скрапа, и поэтому принятый расход кокса не преувеличен. При заметном участии скрапа в шихте расход кокса, при неизменных прочих условиях, заметно снижается.

3. Железо в шихту доставляется железной рудой, золой кокса и мартеновским шлаком. Есть еще очень небольшие количества железа в марганцевой руде, в известняке, но количество его в марганцевой руде (при ее небольшом расходе и низком процентном содержании Fe в ней) ничтожно, а железо известняка может практически считаться переходящим полностью в доменный шлак (причем принимаем, что уже из других источников железо в шлак не поступает). Таким образом, железо для чугуна должно быть доставлено смесью железных руд, коксом и мартеновским шлаком.

Количество расходуемого в шихту мартеновского шлака не рассчитывается. Найдено, что чем больше его брать при плавке мартеновского чугуна, тем выгоднее¹, и расход мартеновского шлака в шихту мартеновского чугуна ограничивается только содержанием марганца и фосфора в чугуне. Это соответствует, приблизительно, расходу шлака около 0,3 — 0,35 на единицу чугуна. Однако, в заводе редко бывает настолько много шлака, чтобы его можно было расходовать в таких больших количествах, и поэтому его берут в шихту, учитывая реальное поступление в цех и имея в виду его равномерное расходование. Пусть запасы в складах и поступление шлака в цех дают возможность расходовать его в количестве 1000 кг в подачу. Тогда этот мартеновский шлак внесет железа (9%)

$$\frac{1000 \cdot 9}{100} = 90 \text{ кг.}$$

4. Теперь подсчитаем, сколько железа внесет зола кокса. Мы расходует кокса 5500 кг в колошу, но это вес влажного кокса, а анализ его дан в расчете на сухой кокс. Так как в коксе 4% влаги, то 5500 кг влажного кокса содержат:

влаг

$$\frac{5500 \cdot 4}{100} = 220 \text{ кг,}$$

сухого кокса $5500 - 220 = 5280 \text{ кг.}$

В этом коксе содержится золы (10%)

$$\frac{5280 \cdot 10}{100} = 528 \text{ кг.}$$

В золе содержится железа (20%):

$$\frac{528 \cdot 20}{100} = 105 \text{ кг}^2.$$

¹ О выгодности расходования мартеновского шлака в доменную шихту подробнее см. ниже.

² Здесь и ниже все весовые количества, выраженные в кг, для простоты округляются до целых килограммов.

Зола и мартеновский шлак вносят железа:

$$90 + 105 = 195 \text{ кг.}$$

Смесь железных руд должна, следовательно, внести железа

$$5115 - 195 = 4920 \text{ кг.}$$

5. Так как в этой смеси содержится 62% Fe, то руды придется взять всего:

$$\frac{4920}{62} \cdot 100 = 7935 \text{ кг, или}$$

2-го класса 3967 кг,

6-го класса 3967 кг.

Однако, это расход руды сухой. Учитывая, что в руде влаги 2% и следовательно, во влажной руде содержится 98% сухой руды, имеем расход влажной руды:

$$\frac{7935}{98} \cdot 100 = 8096 \text{ кг,}$$

или по 4048 кг 2-го и 6-го классов.

6. Полученные величины дают расход руды на процесс в печи, но не учитывают неизбежный в наших условиях (пылеватые руды) значительный вылет руд в колошник. Обычно, на основании предыдущей работы с данной рудой, бывает довольно точно известно, какой процент этой руды летит через колошник данной печи при данном ее состоянии и при производстве такого то количества чугуна такого-то состава. Это обстоятельство приходится теперь учесть. Пусть известно, что руды 2-го класса летит 30% ее веса, а 6-го класса — 20%. Это значит, что полученные расчетом выше величины расхода руды в колошу составляют только 70% для 2-го и 80% для 6-го класса. Следовательно, чтобы при указанном вылете в печь для получения чугуна действительно попали рассчитанные количества каждой руды, придется дать в подачу следующее количество их

$$\text{2-го класса: } \frac{4048 \cdot 100}{70} = 5780 \text{ кг}$$

$$\text{6-го класса: } \frac{4048 \cdot 100}{80} = 5060 \text{ кг,}$$

а всего обоих классов 10840 кг¹.

7. Теперь надо определить расход марганцевой руды. Марганец содержится во всех материалах шихты, но заметные его количества имеются только в мартеновском шлаке и в марганцевой руде. Содержание же марганца во всех прочих материалах настолько незначительно, что им можно пренебречь.

¹ Расход обеих руд, вследствие разного их вылета, получился не совсем одинаковый; практически это особого значения не имеет, так как нет надобности стремиться к абсолютному равенству расхода обоих классов руд.

Нужно доставить марганца в чугуна (2,2%) для 5500 кг чугуна

$$\frac{5500 \cdot 2,2}{100} = 121 \text{ кг.}$$

Однако, ввести его в шихту нужно больше, так как не весь введенный марганец восстанавливается и переходит в чугуна. Часть марганца остается невосстановленной и переходит в шлак, часть испаряется и уходит с колошниковыми газами. Таким образом, при плавке мартеновского чугуна обычно восстанавливается около 60% всего марганца, введенного в шихту (при плавке литейных чугунов на 5—10% больше). Если 121 кг марганца, переходящего в чугуна, составляет 60% всего введенного в шихту, то ввести его понадобится:

$$\frac{121 \cdot 100}{60} = 201 \text{ кг.}$$

Часть этого марганца будет введена мартеновским шлаком, расходуемым в шихту в количестве 1000 кг и содержащим 11% марганца. Это составит:

$$\frac{1000 \cdot 11}{100} = 110 \text{ кг.}$$

Следовательно, недостающие $201 - 110 = 91$ кг марганца будут введены марганцевой рудой которой (при условии содержания в ней 36% Mn), придется израсходовать:

$$\frac{91 \cdot 100}{36} = 253 \text{ кг (сухой руды).}$$

Так как влажная марганцевая руда содержит 10% влаги и, следовательно, 90% сухой руды, то для получения 253 кг сухой марганцевой руды придется взять влажной:

$$\frac{253 \cdot 100}{90} = 281 \text{ кг.}$$

Марганцевая руда не летит подобно пылевой железной, и поэтому поправок на вылет руды вносить не требуется.

8. Остается определить расход известняка. Для этого учтем, сколько извести надо иметь для того, чтобы дать нужное содержание ее в шлаке и для того, чтобы связать нужное количество серы в сернистый кальций (растворимый в шлаке).

Подсчитаем, прежде всего, какое количество кремнезема внесено всеми материалами шихты, расход которых уже известен: 528 кг золы кокса, содержащей 40% SiO₂, вносят кремнезема:

$$\frac{528 \cdot 40}{100} = 211 \text{ кг.}$$

7935 кг рудной смеси, содержащей 10% SiO_2 , внесут кремнезема

$$\frac{7935 \cdot 10}{100} = 794 \text{ кг.}$$

1000 кг мартеновского шлака, содержащего 23% SiO_2 , внесут:

$$\frac{1000 \cdot 23}{100} = 230 \text{ кг кремнезема.}$$

253 кг сухой марганцевой руды, содержащей 20% SiO_2 , дадут кремнезема:

$$\frac{253 \cdot 20}{100} = 50 \text{ кг.}$$

Всего эти материалы внесут кремнезема:

$$211 + 794 + 230 + 50 = 1285 \text{ кг.}$$

Однако, не весь этот кремнезем перейдет в шлак. Небольшое количество его будет израсходовано на восстановление из него кремния. Так как атомный вес кремния 28, а атомный вес кислорода 16, то молекулярный вес SiO_2 будет: $28 + (2 \cdot 16) = 60$. Следовательно, для получения каждых 28 кг Si надо взять 60 кг SiO_2 или на 1 кг Si надо $\frac{60}{28} = 2,14$ кг SiO_2 .

Нам надо в 5500 кг чугуна иметь (1%): $\frac{5500 \cdot 1}{100} = 55$ кг кремния, на что потребуется $2,14 \cdot 55 = 118$ кг кремнезема. Следовательно, ошлакуется остаток кремнезема в количестве:

$$1285 - 118 = 1167 \text{ кг.}$$

Мы условились иметь в шлаке на 37% SiO_2 , 41% CaO, т. е. на каждый 1 кг SiO_2 должно приходиться 1,11 кг CaO (отношение $\frac{41}{37} = 1,11$). Следовательно, для ошлакования 1167 кг SiO_2 понадобится иметь в шлаке извести:

$$1167 \cdot 1,11 = 1295 \text{ кг.}$$

Теперь вычислим, какое количество CaO потребуется для перевода серы в сернистый кальций (ошлакование серы).

Кокс вносит серы (1,7% серы в 5280 кг сухого кокса):

$$\frac{5280 \cdot 1,7}{100} = 90 \text{ кг.}$$

Немного серы вносят еще мартеновский шлак и прочие материалы шихты, но эти количества ничтожны в сравнении с серой кокса, и ими поэтому можно пренебречь. Вносимая сера в небольшом количестве все же остается в чугуне, в небольшом

количестве улетучивается с колошниковым газом, в огромной же своей части шлакуется. Рядом наблюдений установлено, что при производстве передельных и литейных чугунов в наших условиях шлакуется от 88% до 93% (а в среднем около 90%) всей серы шихты. В нашем случае следует ошлаковать серы:

$$\frac{90 \cdot 90}{100} = 81 \text{ кг.}$$

Эта сера должна перейти, как говорилось, в соединение CaS (сернистый кальций), которое образуется из CaO при взаимодействии серы с известью при высокой температуре горна доменной печи и в присутствии углерода. На 1 атом серы нужна 1 молекула извести, а так как атомный вес серы 32, а молекулярный вес извести 56, то на каждые 32 кг серы надо 56 кг CaO, а на 1 кг серы надо $56:32 = 175$ кг извести. Извести для ошлакования 81 кг серы необходимо:

$$81 \cdot 1,75 = 142 \text{ кг.}$$

Всего, следовательно, для ошлакования кремнезема и серы требуется извести:

$$1295 + 142 = 1437 \text{ кг.}$$

Однако, было бы ошибочно думать, что известняк должен дать именно столько извести. С одной стороны, некоторое количество извести вносится прочими материалами. Если руды вносят ее настолько мало, что ею можно пренебречь, то известью, вносимую мартеновским шлаком (36%), пренебречь никак нельзя. Он внесет извести:

$$\frac{1000 \cdot 36}{100} = 360 \text{ кг.}$$

Поэтому потребность в CaO уменьшится на эту величину и составит: $1437 - 360 = 1077$ кг.

С другой стороны, если мы введем с известняком (содержащим 53,5% CaO и 2% SiO₂) ровно 1077 кг CaO, то этой извести будет явно недостаточно, так как с известняком будет внесено новое количество SiO₂, подлежащей также ошлакованию и тоже нуждающейся, следовательно, в извести для этой цели. Очевидно, если в каждом 100 кг известкового камня содержится собственного кремнезема 2 кг, то и на его ошлакование потребуется особо:

$$2 \cdot 1,11 = 2,2 \text{ кг извести.}$$

Из 53,5 кг извести, содержащихся в каждом 100 кг известкового камня, можно будет поэтому использовать для ошлакования SiO₂ золы и руд только $53,5 - 2,2 = 51,3$ кг CaO. Таким образом, потребуется известняка:

$$\frac{1077 \cdot 100}{51,3} = 2100 \text{ кг.}$$

При учете влажности этого известняка ($2^0/0$) имеем:

$$\frac{2100 \cdot 100}{98} = 2143 \text{ кг.}$$

При учете еще $2^0/0$ вылета имеем окончательное количество известняка в подачу:

$$\frac{2143 \cdot 100}{98} = 2187 \text{ кг, округленно — 2200 кг.}$$

Таким образом, получаем следующую сводную таблицу расчетной шихты:

Наименование	Расход на единицу чугуна	Количество в подачу кг	Количество сухих материалов и без вылета в подачу кг
Кокс	1,00	5500	5280
Руда железная 2 кл. . . .	1,05	5780	3967
Руда железная 6 кл. . . .	0,92	5060	3967
Руда марганцевая	0,05	280	253
Итого	2,02	11120	8187
Мартеновский шлак	0,18	1000	1000
Известняк	0,40	2200	2100
Всего материалов	0,60	19820	16567

При этом можно вычислить и количество шлака. Количество SiO_2 , переходящее в шлак из материалов, вычислено выше и составляет 1167 кг. К этому надо еще прибавить то количество SiO_2 , которое переходит в шлак из 2100 кг известняка ($2^0/0$ SiO_2 в известняке):

$$\frac{2100 \cdot 2}{100} = 42 \text{ кг.}$$

Всего в шлаке SiO_2 : $1167 + 42 = 1209$ кг. Этот SiO_2 по условию составит $37^0/0$ всего шлака. Следовательно, количество шлака из подачи:

$$\frac{1209 \cdot 100}{37} = 3267 \text{ кг.}$$

Это дает выход шлака на единицу чугуна: $\frac{3267}{5500} = 0,6$ (или 600 кг на 1 тонну чугуна).

Подобным образом исчисляются также расходы руд и прочих материалов на единицу чугуна (т. е. делением полученных расходов в подачу на 5500 — количество чугуна из подачи).

Как видим, шлака больше, чем его минимально необходимо при производстве мартеновского чугуна. Объясняется это тем, что мы ввели в шихту мартеновский шлак, в огромной своей части переходящий затем в доменный¹. Чтобы при использовании мартеновского шлака в доменной печи иметь малый выход доменного шлака, надо было бы иметь очень богатую железом (и бедную пустой породой) рудную смесь, чего не было задано и чего обычно и не бывает. Несмотря на некоторую кажущуюся невыгодность иметь столь большой выход шлака, ввод в шихту мартеновского шлака все же оправдывается, во первых, тем, что он заменяет частично марганцевую и железную руду в шихте, и, во-вторых, тем, что он не требует для ошлакования (как требует пустая порода руды) известняка, а скорее сам еще сокращает его расход. Поэтому и количество кокса, расходуемого на расплавление доменного шлака, полученного из мартеновского, будет, примерно, вдвое меньше против количества кокса, расходуемого тогда, когда на образование шлака приходится давать еще известняк, так как при этом выпадает расход тепла на разложение (прокалывание) известкового камня.

Мартеновский шлак замечателен еще и тем, что, внося в доменный шлак магнезию, разжижает его и тем несколько ускоряет и улучшает ход печи. Наконец, мартеновский шлак, будучи кусковым материалом, несколько разрыхляет пылеватую руду и тем увеличивает проницаемость всего шихтового столба, что облегчает ход печи.

По поводу приведенной выше таблицы следует отметить, что в ней количество материалов в шихту (средняя колонка) даны слишком точно — с точностью до 10 кг — только для того, чтобы не было (при сличении) расхождений с полученными по расчету и фигурирующими в тексте числами. Практически на производстве эти величины округляются до сотен килограммов, так как несколько десятков килограммов роли в шихте почти не играют. Поэтому на шихтовой доске полученная шихта была бы написана так:

кокс 5500	руда марганцевая 300
руда 2-го класса 5800	мартеновский шлак	1000
руда 6-го класса 5100	известняк 2200

Отметим еще, что шихта рассчитана в предположении на применение рядовой, неподготовленной руды. Наши заводы скоро переходят на подготовленную шихту,² которая будет состоять из кусковой руды и агломерата. При этих условиях расход руд

¹ Ниже будет показано, что такое количество шлака вызвано еще и соображениями обеспечения кондиционности чугуна по сере. Практически на заводах СССР количество шлака на единицу чугуна бывает и выше, составляя 0,7=0,8. Это бывает в связи с отсутствием иногда богатых руд в достаточном количестве, стремлением удалить побольше серы в шлак и в связи с применением в шихту передельных и сварочных шлаков.

² Заводы им Дзержинского и им. Кирова уже перешли, так как на этих заводах уже действуют агломерационные фабрики.

и аггломерата будет ниже, чем получилось у нас, так как вылет в колошник будет гораздо меньше. Во всем остальном расчет будет тот же, только расход кокса будет меньше, (около 0,9 и ниже). Укажем еще, что часто в шихту идет, кроме руд и шлаков, большее или меньшее количество железа в виде скрапа, лома или чугуна - брака. Расход скрапа может быть самый разнообразный, смотря по наличию его в заводе (от 2-3% до 10-15% по весу шихты). Скрап, конечно, значительно увеличивает производительность и требует сравнительно немного тепла на переплавку.

Вернемся после всех этих замечаний к нашему расчету.

Следует проверить, получатся ли нужные по составу чугун и шлак из рассчитанной шихты. Мы не будем проверять те составные части чугуна и шлака, из которых мы исходили в расчете шихты, каково, например, содержание железа и марганца в чугуне, или кремнезема и извести в шлаке.

Не будем также проверять содержание углерода и кремния в чугуне и окислов железа и марганца в шлаке, так как содержание этих веществ устанавливается, исходя не из того, сколько их введено в шихту, а в зависимости от хода и режима печи, а также в зависимости от содержания в чугуне и шлаке прочих составных частей. Остается, таким образом, проверить следующие величины: а) какой процент фосфора окажется в чугуне, не будет ли очень много в нем фосфора (допускается фосфора в мартеновском чугуне не больше 0,3%); б) содержание серы в шлаке: не получится ли в шлаке серы в результате расчета больше, чем он способен в себе растворить при данной его основности. Если в шлаке серы при расчетной проверке окажется больше, чем он способен растворить, это будет значить, что в действительности эта сера перейдет в чугун, и он будет некондиционным или браком; в) содержание глинозема в шлаке: не слишком ли оно мало, не слишком ли велико. И в том, и в другом случае шлак будет очень густой, будет замедлять ход печи создавать завливания, а кроме того, его трудно будет выпустить из печи.

1. Проверим, прежде всего, сколько фосфора в чугуне.

Количество внесенного фосфора:

Рудой 2-го класса	$\frac{3967 \cdot 0,03}{100} = 1,19$ кг
Рудой 6-го класса	$\frac{3967 \cdot 0,04}{100} = 1,59$ кг.
Золей кокса	$\frac{528 \cdot 0,1}{100} = 0,53$ кг.
Мартеновским шлаком	$\frac{1000 \cdot 0,4}{100} = 4,00$ кг.
Марганцевой рудой	$\frac{253 \cdot 0,2}{100} = 0,51$ кг
Известняком	$\frac{2100 \cdot 0,02}{100} = 0,42$ кг
Всего	8,24 кг.

В доменной печи улетучивание и шлакование фосфора происходит в очень незначительной степени и почти весь фосфор переходит в чугун. Поэтому можем считать, что все 8,24 кг фосфора перейдут в чугун. В процентах фосфора в чугуне будет:

$$\frac{8,24}{5500} \cdot 100 = 0,15.$$

Для мартеновского чугуна, в котором допускается до 0,3% фосфора, содержание его = 0,15% вполне приемлемо. Но если бы нам нужно было выплавить из тех же материалов бессемеровский чугун, в котором допускается не более 0,08% фосфора, надо было бы признать, что такая шихта не годится. Очевидно, в первую очередь пришлось бы исключить из шихты мартеновский шлак, а также заменить и прочие материалы менее фосфористыми. Поэтому при производстве бессемеровского чугуна тщательно следят за чистотой всех материалов от фосфора, а мартеновский шлак или вовсе не вводят в шихту, или дают в очень небольших количествах (мартеновский шлак при бессемеровском чугуне не нужен еще и потому, что он вносит заметное количество марганца, а в этом чугуне много марганца не нужно).

2. Рассмотрим, какой процент серы должен оказаться в шлаке. Выше было определено, что в шлак должно перейти серы 81 кг, а количество образующегося шлака 3267 кг. Следовательно, процентное содержание серы в шлаке должно быть:

$$\frac{81}{3267} \cdot 100 = 2,48.$$

Сможет ли наш шлак растворить такой процент серы? Не перейдет ли эта сера в чугун, обратив его в брак? Из практики и исследований известно, что в наиболее кислых из наших шлаков, содержащих около 40% CaO (и около 38-39% SiO₂) может раствориться не более 2,5% серы, при условии, чтобы в чугунах сера была в норме. С другой стороны, наиболее основные шлаки (содержание около 47% CaO) могут растворить в себе серы около 3,2% (если шлак растворит больше серы, он может оказаться тогда перенасыщенным ею, и будет опасность чрезмерного перехода серы в чугун). Следовательно, при разности содержания CaO (47-40) = 7% разность содержания серы в шлаке составляет (3,2-2,5) = 0,7%. Значит, увеличение содержания извести в шлаке на каждый 1% допускает увеличение содержания в нем серы на $\frac{0,7}{7} = 0,1\%$.

Отсюда можно предложить следующую таблицу допустимых содержаний серы в шлаках с разными содержаниями извести

% CaO в шлаке	40	41	42	43	44	45	46	47
Допустимый % S в шлаке	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2

Наш шлак содержит 41% СаО и, следовательно, может растворить до 2,6% серы, без опасности чрезмерного перехода ее в чугун. Мы получили по расчету 2,48% серы в шлаке, что вполне допустимо, при этом чугун будет вполне качественный. Такого результата можно было ожидать и раньше, видя сравнительно большой выход шлака (0,6) по расчету. Мы, однако, произвели эту проверку для того, чтобы показать, как ее надо делать в тех случаях, когда это может понадобиться.

3. Теперь проверим шлак на содержание в нем глинозема (Al_2O_3):

Количество внесенного глинозема:

Рудой 2-го класса . . .	$\frac{3967 \cdot 1,5}{100} = 59,6$ кг.
Рудой 6-го класса . . .	$\frac{3967 \cdot 2,0}{100} = 79,4$ кг.
Золой кокса . . .	$\frac{528 \cdot 22}{100} = 116,2$ кг.
Мартеновским шлаком . . .	$\frac{1000 \cdot 2}{100} = 20,0$ кг.
Марганцевой рудой . . .	$\frac{253 \cdot 1}{100} = 2,5$ кг.
Известняком . . .	$\frac{2100 \cdot 0,8}{100} = 16,8$ кг.
Всего . . .	<u>294,5</u> кг

Глинозем весь переходит в шлак. Количество шлака из колоши — 3267 кг. Процентное содержание глинозема в шлаке:

$$\frac{294,5}{3267} \cdot 100 = 9\%.$$

Сопоставляя полученную величину с примерными обычными содержаниями Al_2O_3 в шлаках мартеновского чугуна, приведенными в описании шлаков, видим, что содержание Al_2O_3 является еще довольно низким. Доведение этой величины до 11-12% было бы весьма желательно. Однако, это не всегда возможно, потому что наше сырье бедно глиноземом. В данном случае положение облегчается повышенным содержанием в шлаке MgO из мартеновского шлака, почему доменный шлак, несмотря на недостаточно высокое содержание Al_2O_3 , оказывается достаточно текучим.

Примерное содержание MgO в доменном шлаке можно определить, учтя, что ее содержится в мартеновском шлаке около 7%.

в известняке — 2%, рудах — около 0,2%, золе кокса — 2%, в марганцевой руде — 1,5%. Тогда общее количество MgO:

из руд	$\frac{7935 \cdot 0,2}{100} = 15,9$ кг,
из золы	$\frac{528 \cdot 2}{100} = 10,6$ кг,
из мартен. шлака	$\frac{1000 \cdot 7}{100} = 70,0$ кг,
из марганц. руды	$\frac{253 \cdot 1,5}{100} = 3,8$ кг,
из известняка	$\frac{2100 \cdot 2}{100} = 42,0$ кг.
	В с е г о . 142,3 кг.

Процент MgO в шлаке:

$$\frac{142,3}{3267} \cdot 100 = 4,4\%$$

Как показывают многочисленные наблюдения и исследования, такое содержание магнезии в шлаке обеспечивает хорошую его текучесть даже при том невысоком содержании глинозема, какое получилось у нас. Практически руды, идущие для мартеновского чугуна, бывают богаче глиноземом, чем принятые нами, и поэтому шлак содержит большей частью 10 — 12% Al_2O_3 .

На этом надо расчет считать законченным.

Если бы пришлось рассчитывать шихту на другие чугуны (бессемеровский, литейный), в ходе расчетов ничего не изменилось бы. Для бессемеровского чугуна пришлось бы вовсе исключить из шихты (или оставить в очень небольшом количестве) мартеновский шлак; постараться подыскать возможно более бедные фосфором кокс, руды и известняк; задаться несколько большим, чем для мартеновского чугуна, расходом кокса (соответственно большому содержанию Si в бессемеровском чугуне; выбрать несколько более основной шлак; особенно строго проверить содержание S в шлаке (в конце), так как от бессемеровского чугуна требуется особенная чистота по сере. При расчете шихты на литейный чугун может быть допущен мартеновский шлак, но в небольшом количестве, вследствие допустимости очень небольших количеств марганца в чугуне; при этом, если уже давать мартеновский шлак на литейный чугун, то следует вовсе исключить из шихты марганцевую руду; обязательно надо на литейный чугун давать весь имеющийся в заводе сварочный шлак, так как он сокращает расход руды. Надо задаться повышенным расходом кокса, соответственно высокому содержанию Si в чугуне, и задаться шлаком с повышенным содержанием извести — тем большим, чем горячее (т. е. богаче кремнием) должен быть чугун; постараться изыскать возможно более глиноземистые

руды, так как Al_2O_3 облегчает восстановление Si; так же, как и на бессемеровский чугун, строго проверить шлак на содержание серы, а также и глинозема. Случая расчета шихты на специальные чугуны мы не рассматриваем, так как специальные чугуны производятся у нас довольно редко. В общем же метод расчета этих шихт мало отличается от приведенного.

Во всех случаях желательно давать в шихту возможно большее количество разных веществ, могущих заменить собою руду или известняк. Поэтому дача в шихту известных количеств колошниковой пыли (конечно, предварительно агломерированной, либо брикетированной, или же хотя бы очень хорошо смоченной), скрапа, брака чугуна, стружки — весьма желательна (не говоря уже о том, что бессемеровские, мареновские и сварочные шлаки, имеющиеся в заводе, должны быть полностью переплавлены в доменных печах). Тогда соответственным образом снизится и расход руды. Известняк полезно в ряде случаев заменить, так называемым, доломитизированным известняком, в котором около 10% извести замещены магниезией (MgO), а ввод MgO в состав доменного шлака будет, как говорилось, способствовать его разжижению и приобретению им способности устойчиво сохранять ряд своих физических свойств, даже при колебании в содержании в нем CaO , SiO_2 и Al_2O_3 . Эта устойчивость очень важна в наших условиях, когда, при неравномерности состава сырья и неточности его анализов, всегда возможно получение шлака, несколько отличающегося по анализу от расчетного. (Месторождения доломитизированных известняков имеются в Еленовке (Донбасс) и кое-где в Криворожьи, но пока мало разрабатываются. Вопрос об их разработке должен быть резко поставлен в наши дни).

Если бы в нашем распоряжении оказалось не два класса руд, как мы предположили, а больше (что обычно и бывает), решение задачи не очень усложнилось бы. Тогда мы расчет вели бы тоже на смесь руд, но составленную не из 2-х, а из 3-х, 4-х и т. д. классов, количественное соотношение которых было бы известно и определялось бы запасом каждого из классов на складах и теми количественными соотношениями, в которых они поступают в завод.

Случай второй. Несмотря на несколько большую трудность расчета по этому способу, у нас этот расчет займет меньше места, так как многие действия оказываются одинаковыми с действиями, примененными в первом расчете.

Предположим, что надо выплавить такой же чугун, как и при первом расчете, и из таких же материалов. Очевидно, при этом придется остановиться на таком же расходе кокса (1,0) и таком же составе шлака (37% SiO_2 и 41% CaO), как и раньше. Разница только в том, что теперь не указывается количественное соотношение разных классов железных руд в шихте, и нам нужно самим установить это соотношение, исходя из условий наиболее рациональной шихты. Раньше, когда соотношение руд было задано, количество доменного шлака из подачи (или на единицу чугуна) получалось в зависимости от заданного состава

и соотношения классов руд, и при этом могло оказаться или слишком малым, или слишком большим. В первом случае (слишком малый выход шлака) была опасность того, что не вся сера перейдет в шлак, действительно растворится в нем, и, следовательно, мог получиться сернистый чугун. Чтобы этого не случилось, требовалось бы увеличить количество шлака, введя в шихту бедную руду, кварцит или другие вещества, богатые пустой породой, а также и флюс. Во втором случае—при слишком большом количестве шлака—была бы угроза излишнего расхода кокса на нагрев излишнего количества шлака и разложение соответствующего ему количества излишнего известняка.

Теперь, не будучи связаны количественным ассортиментом руд, мы можем сами выбрать оптимальное и наиболее выгодное количество шлака и рассчитать, каково должно быть количество каждой руды в шихте для того, чтобы именно это подходящее количество шлака получилось. При этом состав руд оставляем тот же, что и раньше, но не связываем себя количественным их соотношением.

Расход кокса принят нами 1,0; вес коксовой колоши — 5500 кг, следовательно, как и раньше, имеем выход чугуна из подачи— 5500 кг.

1. Найдем, прежде всего, расход марганцевой руды, если расход мартеновского шлака будет тот же, что и при первом расчете шихты. Если так, то и расход марганцевой руды и количество ее в подачу будут те же, что и при первом подсчете. Имеем: количество мартеновского шлака в подачу 1000 кг, а марганцевой руды в подачу: сухой 253 кг, влажной— 281 кг.

2. Теперь можем решить вопрос о том, сколько шлака целесообразно иметь из одной подачи. Количество шлака в наших условиях определяется количеством серы, которое требуется ошлаковать. Количество шлакующей серы вычислено в первом расчете и составляет 81 кг. Мы приняли в шлаке 41% CaO. При степени основности, определяемой этим содержанием CaO, мы приняли, что шлак может растворить до 2,6% серы и при этом чугун будет еще вполне кондиционным. (Если допустим больше 2,6% серы, тогда будет опасность получения некондиционного чугуна, если же принять меньше 2,6% — шлак будет недостаточно насыщен серой, т. е. шлака будет слишком много). Следовательно, оптимальное количество шлака (соответствующее случаю, когда он содержит 2,6% серы) будет: $\frac{81}{2,6} \cdot 100 = 3115$ кг

(или $\frac{3115}{5500} = 0,57$ на единицу чугуна)¹.

3. В этом шлаке должно содержаться извести (CaO) 41%, т. е.

$$\frac{3115 \cdot 41}{100} = 1277 \text{ кг.}$$

¹ Мы видим, что в данном случае, чтобы избежать повышения некондиционного чугуна, приходится держать повышенное количество шлака—больше оптимального минимума, указанного выше.

Кроме того, потребуется еще CaO для образования соединения с серой — CaS. Эта величина подсчитана в первом расчете и найдено, что для ошлакования серы понадобится 142 кг CaO.

Всего надо иметь CaO для образования шлака:

$$1277 + 142 = 1419 \text{ кг.}$$

Необходимая известь доставляется мартеновским шлаком и известняком (содержание CaO в прочих материалах незначительно, и им поэтому можно пренебречь). Количество CaO, вносимое 1000 кг мартеновского шлака, составляет 360 кг.

Следовательно, известняк должен дать извести:

$$1419 - 360 = 1059 \text{ кг.}$$

Так как в нем содержится извести 53,5%, то расход его в этом случае составит:

$$\frac{1059 \cdot 100}{53,5} = 1980 \text{ кг.}$$

Учитывая влажность:

$$\frac{1980 \cdot 100}{98} = 2020 \text{ кг.}$$

Учитывая вылет:

$$\frac{2020 \cdot 100}{98} = 2060 \text{ кг.}$$

4. Для решения вопроса о расходе железных руд придется подобрать соотношение 2-го и 6-го классов таким образом, чтобы руды дали нужное количество Fe для чугуна, а, кроме того, и нужное для образования шлака и для восстановления Si в чугун количество кремнезема.

Выясним потребное количество железа. При проведении расчета в первом случае мы нашли, что смесь железных руд должна дать 4920 кг железа. Пренебрегая, как и раньше, содержанием железа в марганцевой руде и считая, что железо из известняка перейдет полностью в шлак (причем в шлак железо больше нигде не перейдет), видим, что обе руды должны дать именно 4920 кг Fe. С другой стороны, сможем определить, сколько обе руды должны дать SiO₂.

В 3115 кг шлака должно содержаться SiO₂ (37%).

$$\frac{3115 \cdot 37}{100} = 1153 \text{ кг.}$$

Количество SiO₂, нужное для восстановления Si, подсчитано ранее и составляет 118 кг. Следовательно, всего требуется иметь SiO₂:

$$1153 + 118 = 1271 \text{ кг.}$$

Часть этого кремнезема вносится и прочими, кроме руд, материалами (подсчитано выше):

золою — 211 кг,

мартеновским шлаком — 230 кг,

марганцевой рудой — 50 кг.

Известняк вносит SiO_2 :

$$\frac{1980 \cdot 2,0}{100} = 40 \text{ кг.}$$

Всего внесут кремнезема зола кокса, мартеновский шлак, марганцевая руда и известняк:

$$211 + 230 + 50 + 40 = 531 \text{ кг.}$$

Рудная смесь, следовательно, должна дать $1271 - 531 = 740$ кг кремнезема.

Если обозначим количество руды 2-го класса через x кг, количество руды 6-го класса через y кг, то рудой 2-го класса внесено железа $\frac{65x}{100}$, а рудой 6-го класса внесено железа

$\frac{59y}{100}$, и все это вместе должно составить 4920 кг.

Следовательно:

$$\frac{65x}{100} + \frac{59y}{100} = 4920. \quad (1)$$

Подобно предыдущему, количество кремнезема, внесенного рудой 2-го класса: $\frac{6x}{100}$, рудой 6-го класса $\frac{14y}{100}$, а всего 40 кг

Следовательно:

$$\frac{6x}{100} + \frac{14y}{100} = 40. \quad (2)$$

Решая взаимно оба уравнения, получаем:

$x = 4535$ кг, $y = 3342$ кг,

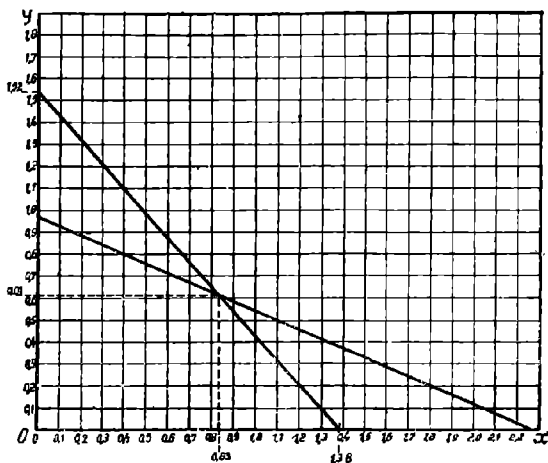
а на единицу чугуна руды 2-го класса: $\frac{4535}{5500} = 0,83$,

6-го класса: $\frac{3342}{5500} = 0,61$.

Так может решить задачу тот, кто знает алгебру. Для незнающих алгебры и неумеющих решать уравнения, можно предложить графический способ решения. Для этого надо взять графленную в клетку бумагу и нанести на ней две оси, взаимно перпендикулярные OX и OY (как указано на фиг. 1). Затем обозначить деления через равномерные промежутки на горизонтальной и вертикальной осях. Значения, относящиеся к руде 2-й (x), будем откладывать на горизонтальной оси, а значения, относя-

щиеся к руде 6-й (у) — на вертикальной оси. Для удобства переведем количества железа и кремнезема (4920 кг и 740 кг), отнесенные к 5500 кг чугуна (на подачу), на 100 единиц чугуна, для чего эти числа надо будет разделить на 55.

Получаем: нужно железа на 100 кг чугуна $\frac{4920}{55} = 89,5$ кг, а кремнезема на 100 кг чугуна $\frac{740}{55} = 13,4$ кг. Теперь разделим



Фиг. 1. Графическое определение расхода руд

полученные величины на коэффициенты при x и y в уравнениях, или просто на содержания Fe и SiO_2 в наших рудах. Получим значения:

$$89,5 : 65 = 1,38$$

$$89,5 : 59 = 1,52$$

$$13,4 : 6 = 2,23$$

$$13,4 : 14 = 0,96$$

Сведем эти результаты в таблицку:

Класс руды	От деления	
	на Fe	на SiO_2
2 (x)	1,38	2,23
6 (y)	1,52	0,96

Теперь, условившись относительно масштабов и предположив, например, что одно деление равно величине 0,1, откладываем: на горизонтальной оси значение 1,38 для руды 2-го класса,

а на вертикальной оси 1,52 для 6-го класса. Соединяя обе полученные точки, получаем „линию железа“. Подобное же построение делаем и для кремнезема: откладывая на горизонтальной линии 2,23, а на вертикальной 0,96 и соединяя обе эти точки прямой линией, получаем „линию кремнезема“. Пересечение обеих прямых линий дает точку, которая может указать, сколько руды x и у надо взять на единицу чугуна. Для этого смотрим, против каких делений горизонтальной и вертикальной линий находится точка пересечения обеих прямых. Видим, что точка эта лежит против деления 0,83 горизонтальной линии и деления 0,61 вертикальной. Значит, руды 2-го класса надо на единицу чугуна 0,83, а руды 6-го класса — 0,61. Результаты полностью совпадают с полученным решением уравнений¹.

Этим можно считать расчет шихты вчерне законченным. Далее потребуется внести еще нужные поправки на содержание влаги и вылет, как мы делали после расчета шихты по первому способу. Если влажность руды обоих классов 2% и вынос пыли для 2-го класса 30%, а для 6-го класса 20%, то имеем:

$$\text{учитывая влагу 2-го класса } \frac{4535}{0,98} = 4630 \text{ кг,}$$

$$\text{6-го класса } \frac{3342}{0,98} = 3440 \text{ кг,}$$

$$\text{учитывая и вылет 2-класса } \frac{4630}{0,7} = 6610 \text{ кг в подачу,}$$

$$\text{6-го класса } \frac{3410}{0,8} = 4260 \text{ кг в подачу.}$$

Теперь можем полученные результаты расчета по второму способу сравнить с результатами первого расчета. Сравнение видно из таблицы

	Количество в подачу	
	По I расчету	По II расчету
Кокс	5500 (1,00)	5500 (1,00)
Руда жел. 2 кл	5780 (1,05)	6610 (1,20)
„ „ 7 кл	5060 (0,92)	4260 (0,77)
Руда марганц.	280 (0,05)	280 (0,05)
Мартен. шлак	1000 (0,18)	1000 (0,18)
Известняк	2200 (0,40)	2060 (0,38)
Выход шлака .	3267 (0,60)	3115 (0,57)

(В скобках указаны расходы на единицу чугуна).

¹ Следует отметить, что иногда графический способ решения задачи может оказаться неудачным. Это окажется когда обе наклонные линии будут пересекаться под очень острым углом, так что точку их пересечения трудно будет определить. В этих случаях лучше все-таки прибегнуть к решению уравнений.

Таким образом, вторая шихта имеет больше богатой руды и меньше бедной, меньший выход шлака и меньший расход известняка. Строго говоря, при ней и расход кокса должен был бы быть несколько ниже, чем при первой шихте, хотя это нами не учтено (так как уменьшение расхода кокса в данном случае весьма ничтожно). Однако, не всегда, как мы говорили уже, условия позволяют подходить к составлению шихты именно так рационализаторски, как мы только что сделали. Сплошь и рядом приходится подбирать ассортимент рук соответственно рациональным условиям работы печи, а брать руды тех анализов и в тех пропорциях их классов, какие имеются на цеховых складах.

Сделаем еще несколько замечаний по поводу всего изложенного.

Мы после расчета по второму способу не приводим снова проверки на содержание фосфора в чугуне и глинозема в шлаке. Делать такие проверки надо, но мы их не делаем, чтобы не повторяться.

Интересен расчет шихты, когда дано не две руды (как в нашем случае), а больше, например, 3, 4 или еще больше классов или же сортов руд. В таких случаях увеличивается число неизвестных и при этом (как понятно знающим алгебру) надо увеличить число условий, т. е. позаботиться еще о том, чтобы шихта дала не только нужное количество кремнезема и железа, но еще, например, и фосфора, или глинозема, или марганца, или же окиси магния и т. д. Тогда приходится решать очень много уравнений со многими неизвестными, что утомительно и требует очень много времени. В заводской обстановке такие задачи не решают и всегда упрощают их, беря некоторые классы (или же виды) руд или другие материалы в определенных количествах (как мы это делали, например, применительно к мартеновскому шлаку) и уменьшая таким способом число неизвестных до минимума.

Наконец, последнее замечание, касающееся обоих способов расчета шихты и относящееся к способу выражения анализа шлака.

Мы знаем, что элемент кальций (Ca) бывает в шлаке в двух разных соединениях: с кислородом — CaO (известь) и с серой — CaS (сернистый кальций). Мы каждое из этих соединений предположили в шлаке отдельно и соответственно рассчитывали, задавая в шлаке отдельно CaO и отдельно S (CaS, в котором эта S находится). В заводской же практике химические лаборатории дают анализ шлака таким образом, что в нем под CaO подразумевается не только „чистая“ CaO, но еще и CaO, пошедшая в свое время на образование CaS. Например, если в шлаке имеется 43% CaO и 6% CaS, то лаборатория по анализу укажет в шлаке наличие 47,67% CaO и 2,67% S.

Это получается вот почему:

CaS имеет молекулярный вес:

$$40 + 32 = 72 \text{ (Ca} = 40; \text{ S} = 32).$$

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

CaO имеет молекулярный вес:

$$40 + 16 = 56 \text{ (Ca} = 40; \text{O} = 16\text{)}.$$

Следовательно, на каждые 72 кг CaS требуется 56 кг CaO и связывается им 32 кг S. Наши 6 кг CaS получились оттого, что

$$6 \cdot \frac{56}{72} = 4,67 \text{ кг. CaO взаимодействовала с } \frac{6 \cdot 32}{72} = 2,67 \text{ кг S.}$$

Следовательно, в шлаке лаборатория укажет CaO:

$$43 + 4,67 = 47,67\% \text{ и серы } 2,67\%.$$

Это приходится учитывать для того, чтобы грамотно ориентироваться в анализах, даваемых заводскими химическими лабораториями, а также и для того, чтобы уметь заводские анализы сопоставлять с теми анализами, которые кладутся в основу даже самых простых расчетов шихты.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ШИХТЫ И ЕЕ СВОЙСТВ НА РАБОТУ ПЕЧИ

Мы рассмотрели, как составляется шихта для выплавки чугуна того или иного состава из тех или иных сырых материалов. Рассмотрим теперь, каким образом работа печи может быть изменена переменной шихты, когда шихту менять следует и когда не следует и что от изменения этого может получиться.

Мы видели из предыдущего, что шихта в основном определяется расходом кокса (на единицу чугуна) количеством и составом шлака (так как шлак является важнейшим регулятором хода печи) и составом выплавляемого чугуна. Если все эти данные имеются, то шихта из материалов, состав которых известен, может быть рассчитана довольно легко. Из этого можно заключить, что однажды рассчитанную и оправдавшую себя шихту допустимо менять только в исключительных случаях практики. Таковыми могут быть:

1. Случай, когда меняется состав выплавляемого чугуна.
2. Случай, когда меняются состав и свойства сырых материалов, горючего или добавок, или же просто надо один сорт сырья вследствие его недостатка на складах цеха, заменить другим.
3. Случай, когда по разным причинам (рассматривать их теперь не будем) произошло резкое изменение хода печи, вследствие чего она либо зависла, либо изменился состав или свойства шлаков, либо изменился состав чугуна против потребного (слишком „холодный“ или слишком „горячий“ чугун).

В этих случаях необходима корректировка хода печи изменением состава шихты, так называемая „перешихтовка“. Иногда еще может оказаться целесообразной перешихтовка не после

получения неудовлетворительного по составу чугуна или шлака или вообще обнаружения расстройств, а в качестве предупредительной против этого меры, если есть уже какие-либо показатели того, что расстройства хода печи можно ожидать. Во всех остальных случаях перешихтовки совершенно нежелательны и с ними надо решительно бороться, поскольку они „дергают“ печь, нарушая уже установившийся режим и темп работы, или мешая им установиться.

Перемена шихты в первом случае вытекает из состава получаемого чугуна. Надо сказать, что при переходе на новую марку чугуна меняется не только шихта по соотношению в ней материалов, но и по содержанию: ряд материалов заменяется другими или просто дают в шихту новые материалы, либо же снимают из нее отдельные материалы. Например, при переходе с маломарганцевых чугунов на марганцевые вводят в шихту марганцевую руду, или снимают ее из шихты в противоположном случае.

Или, например, при переходе от малокремнистого чугуна к многокремнистому обязательно вводят вместо богатых сортов руды более бедные, с повышенным содержанием кремнезема (бедные руды, сварочные шлаки, кварцит), чтобы увеличить количество кремния в шихте, нужного для восстановления в чугун, и чтобы увеличить количество шлака. При переходе с мартеновского чугуна на бессемеровский заменяют обычные руды специально-малофосфористыми. Примеров подобного изменения самого состава шихты, кроме изменения количественного соотношения материалов, можно найти очень много.

Собственно изменение шихты (т. е. количественного соотношения сырых материалов) при переходе с одной марки чугуна на другую сводится, по существу, к расчету новой шихты, с новым коэффициентом расхода кокса, новым составом и количеством шлака,—соответственно тому, как это говорилось достаточно подробно выше. Например, при переходе с малокремнистого мартеновского чугуна на более кремнистый литейный придется увеличить расход кокса на единицу чугуна, увеличить количество шлака и повысить его основность, по возможности еще увеличив процентное содержание в нем глинозема. Для этого поступают следующим образом: вес кокса в „подаче“ („колоше“) обычно остается неизменным и, следовательно, для увеличения его относительного расхода меняют вес руды в колошу так, чтобы содержание в ней железа, дающего чугун, стало соответственно меньше („облегчают“ шихту). Далее, обедняя шихту железом, одновременно обогащают ее кремнеземом (как говорилось выше), стараясь при этом выбрать возможно более глиноземистые материалы, наконец, прибавляют в шихту известняка, вследствие необходимости увеличения количества и основности шлака. Аналогичные изменения, сводящиеся, по существу, к расчету и постановке совершенно новой шихты, делаются во всех случаях перехода с одной марки чугуна на другую. При этом, если новый чугун по составу не очень отличается от старого, то пере-

ход делается одной перешихтовкой, небольшими изменениями в шихте. При необходимости же произвести значительные изменения в шихте, эти изменения иногда производят по частям. При этом новый состав чугуна получается не сразу, а постепенно, так что ряд выпусков имеет промежуточные составы. Надо отметить, что при переходе с одной марки чугуна на другую редко ограничиваются изменением только шихты. Обычно одновременно с этим меняют и количество, и температуру дутья. Одним словом,— полностью меняют весь режим работы домны.

Перемены, в случае необходимости, по тем или иным причинам шихты, замена одного материала другим, являются неизбежным злом в практике наших заводов: это результаты неравномерного по количеству и составу поступления сырья и резкого изменения его химического состава. Во всех случаях необходимости заменить один сорт материала другим стремятся составить новую шихту так, чтобы состав чугуна и шлака и ход печи при этом не изменились.

К этой же категории перешихтовок надо отнести такие, которые вызываются изменением состава материалов. Остановимся на случае перешихтовок при изменении состава кокса. Например, при увеличении количества вносимой коксом серы приходится, стремясь сохранить неизменным состав чугуна, усиливать способность шлака растворять серу, а это требует либо увеличения основности шлака, либо увеличения его количества, либо же и того и другого вместе, а отсюда неизбежно увеличение расхода известняка и ввод более бедной руды вместо богатой (для увеличения количества шлака). При увеличении количества и основности шлака, а также расхода известняка, увеличится расход тепла и, значит, расход кокса на единицу чугуна, а это потребует „облегчения“ шихты. Одним словом, уже увеличение содержания серы в коксе может вызвать значительное изменение состава всей шихты.

Наоборот, при уменьшении сернистости кокса можно утяжелять и обогащать рудную сыпь и работать на более кислых шлаках, отчего производительность увеличится, а расход материалов сократится. Несколько меньшие, но все же заметные изменения может вызвать увеличение (или уменьшение) зольности кокса, содержания пустой породы в руде или кремнезема в известняке.

Увеличение влажности кокса не повлияет на состав шихты, если кокс подают по объему, так как изменение процента влаги никак не скажется на действительном количестве сухого кокса, содержащегося в 1 куб. м его. При подаче же кокса по весу, влажность резко отзывается на количестве подаваемого сухого кокса и тогда, чтобы выдержать его постоянным, приходилось бы в каждую „подачу“ давать надбавку (или сбавку) кокса на влажность. Все же считается более удобным давать кокс в печь по объему, систематически проверяя вес единицы объема.

Рассмотренный выше случай перешихтовки от изменения состава сырых материалов уже представляет переход к третьему

виду перешихтовок,—именно к тому случаю, когда перешихтовка, не будучи еще вызвана совершившейся неполадкой в работе печи, диктуется, однако, необходимостью предупредить неполадку, как совершенно неизбежное следствие измененного состава или ассортимента сырья на складах доменного цеха.

Последний вид перешихтовок — от совершившихся или от ожидаемых неполадок в работе печи — самый распространенный. При этом не всегда неполадки (виды и классификацию их здесь рассматривать не будем) являются следствием изменения состава или ассортимента сырья. Они могут, в равной мере, быть следствием изменения и физических, и механических свойств сырья (мусорный или слабый кокс или же известняк) и изменения профиля печи (обрушение кладки или настывли), изменения распределения материалов на колошнике печи, недостаточного или, наоборот, чрезмерного нагрева дутья, изменения количества дутья или его давления, попадания воды в печь, больших простоев, неправильного взвешивания шихты и еще ряда других, притом самых разнообразных, причин.

Все эти причины, как зависящие, так и независящие от шихты, приводят к расстройствам хода печи, известным практикам как „сырой ход“, похолодание, ход обвалами, зависание, загромождение горна, разъедание футеровки и „гарнисажа“, образование настывлей и т. д.

Во всех этих случаях необходимо, прежде всего, определить причину расстроенного хода печи и уже потом принимать те или иные меры. Очень часто слегка расстроенный ход может быть исправлен и без изменения шихты. Обычно рекомендуется к изменению шихты прибегать в самых крайних случаях — только тогда, когда иные меры уже не помогают. Сперва стараются ликвидировать расстройство хода печи изменением температуры дутья, далее — изменением его количества, и уже, если всего этого недостаточно, соответствующим изменением шихты. Постоянная шихта, таким образом, является одним из главнейших условий правильного ведения доменной печи. Все же, если шихту для исправления хода печи менять приходится, то эти изменения, в большинстве случаев, сводятся к следующему:

1. „Облегчение“ или „утяжеление“ рудной сыпи. Это значит, что, не меняя размера коксовой колоши, увеличиваем или уменьшаем вес руды в колоше, т. е. изменяем в сторону уменьшения или увеличения расход кокса на весовую единицу производимого чугуна.

Такие перешихтовки особенно часты и имеют место во всех тех случаях, когда обнаруживается похолодание или, наоборот, чрезмерно горячий ход печи. При этом похолодание сказывается в уменьшении содержания кремния в чугуне и в возрастании в нем серы, а чрезмерно горячий ход — в увеличении содержания кремния. Часто холодный ход бывает связан с кислыми, иногда железистыми шлаками, а чрезмерно горячий — с основными, малоподвижными шлаками, иногда ведущими к замедлению хода

или даже к зависанию печи. Довольно часто похолодание ликвидируется уменьшением рудной сыпи (увеличение расхода кокса, т. е. увеличение количества тепла на единицу чугуна), а чрезмерно горячий ход — утяжелением шихты (с одновременным, конечно, изменением температуры и количества дутья). Однако, иногда бывает (хотя и очень редко), что похолодание оказывается следствием не недостаточного расхода кокса, а, наоборот, его чрезмерности. В этих случаях чрезмерное количество газов, образующихся от сгорания кокса в горне, с большой скоростью поднимается в заплечики и распар, вызывая повышение температуры в них. Это ведет к слишком раннему плавлению шлаков, растворению в них невосстановившихся окислов железа. Легкоплавкие железистые шлаки при этом весьма быстро стекают в горн, вызывая его похолодание, так как приходят в него недостаточно согретыми. Они к тому же еще вызывают и значительный расход тепла в горне на восстановление невосстановившегося еще железа. Признаком такого похолодания горна от недостаточности рудной сыпи является значительное разогревание колошника. В таких случаях борьба с расстройством хода должна идти в направлении увеличения сыпи руды в шихту. Такой мерой удается выправить состав чугуна в шлаке.

На этом примере можно убедиться в том, насколько важно в борьбе с расстройством хода печи раньше выяснить его причину. В данном случае, не зная причины, можно было бы ошибочно еще больше облегчить рудную сыпь, отчего ход печи не улучшился бы, а ухудшился. Знание причины расстройства подсказывает верные пути их ликвидации.

2. Иногда, правда, довольно редко, увеличение расхода кокса производят дачей просто добавочных порций кокса в доменную печь. К этому прибегают, например, при переходе на более горячий чугун: дают 2-3 „холостые“ колоши кокса. Эти холодные коксовые подачи имеют ту же цель, что и облегчение рудной сыпи — увеличить количество тепла в горне. Холодная колоша кокса обычно сопровождается некоторым количеством известняка, назначение которого — ошлаковать золу этого кокса. Некоторые металлурги, однако, считают, что этот известняк не достигает цели.

3. Следующий очень частый случай исправления хода печи — увеличение количества шлака, мера, которую мы рассмотрели уже, когда говорили о перешихтовке, являющейся следствием увеличения сернистости кокса или следствием увеличения расхода самого кокса. При этом в шихту специально вводят бедную руду или кварцит, или же сварочный шлак, либо просто песок, словом, вещество, содержащее большой процент кремнезема. Соответственным образом увеличивается и количество известняка в шихте. Далее выясняется, в какой мере эта операция увеличивает расход кокса и пересчитывают вес железа и сыпи так, чтобы расход кокса был достаточный. Необходимое умень-

шение количества железа в подаче производят путем сбавки соответственного количества богатой руды.

4. Часто для исправления хода печи, уменьшения содержания серы в чугуна и повышения содержания кремния и вообще для замедления хода печи и согревания горна приходится увеличивать основность шлака путем повышения в нем содержания извести. Для этого вводят в шихту известняк или убавляют богатые кремнеземом материалы. Иногда увеличение основности шлака делается для того, чтобы создать в заплечиках и в горне слой, представляющий собой полутвердую массу шлака, известняка и коксового мусора, иногда смешанную еще с графитом („гарнисаж“).

5. Наоборот, при слишком горячем ходе печи и при очень основных шлаках, при настывах и зависаниях от этого, угрожающих нормальной работе, прибегают к обратной мере: сбавляют вес известняка в подаче или добавляют кремнеземистые вещества. Это делает шлак жиже, подвижнее, более легкоплавким. Часто дача простого песку в шихту ликвидирует тугой ход печи или начинающееся зависание. Точно также хорошими средствами для такой „промывки“ печи является дача в шихту порции сварочного шлака или же марганцевой руды. При этом сварочный шлак смывает настывы потому, что является очень легкоплавким и жидким и очень хорошо растворяет в себе массу настывей. Марганцевая же руда полезна тем, что, увеличивая содержание марганца в доменном шлаке, сильно разжижает его, отчего шлак лучше разъедает настывы. Надо отметить, что иногда очень богатый марганцем шлак может оказаться даже очень вредным, так как, разъедавая гарнисаж и кладку, может вызвать прорывы газов, шлака и чугуна из печи наружу.

6. Если шлак оказывается настолько густым, что уже не вытекает из летки, а дача всяких „промывающих“ печь добавок не помогает, так как ждать, пока они придут в горн и окажут свое действие, некогда (да и безнадежно, так как печь при этом зависает или ее приходится сознательно тормозить, избегая накопления шлака в переполненном уже им горне), тогда приходится принимать экстренные меры воздействия на состав шлака в горне. Тогда печь останавливают и дают на фурмы разжижающее вещество, чаще всего песок, реже — плавиковый шпат или другой материал, способствующий достижению той же цели¹. Это часто оказывается весьма полезным. Наоборот, при слишком кислых шлаках на фурмы можно дать истолченную известь и тем загустить шлак.

7. Иногда, если шлак очень беден глиноземом или магнизей и есть необходимость сделать его жиже, обогатив этими веществами, в шихту дают материалы, содержащие повышенный процент глинозема или магнезии, например, глиноземистые руды, или богатый глиноземом доменный шлак, иногда же глиноземистые старки

¹ Подробнее об этом см. в разделе „Вдувание пыли в доменные печи“.

из - под котлов. Для обогащения шлака магнезией целесообразна дача в шихту доломита, или доломитизированного известняка.

Всего сказанного вполне достаточно для того, чтобы понять, какое большое значение для работы доменной печи имеет постоянство и определенность состава сырых материалов доменной плавки. Изменение содержания золы и серы в коксе, кремнезема, глинозема в руде и известняке требует часто перешихтовки, которая уже как-то отразится на равномерности режима печи. Но еще хуже будет, если этой перешихтовки не сделать: тогда печь расстроится, похолодает или зависнет. Это как раз бывает тогда, когда изменение состава сырья является неожиданным и шихтовщик об этом не предупреждается. Наши доменные печи сплошь и рядом страдали от резких колебаний в составе поступающих материалов.

Борьбу с резкими колебаниями состава шихтовых материалов ведут путем тщательной классификации и паспортизации железных руд, пропуская их через специальную рудосортировочную станцию (Верховцево), закреплением за каждым заводом вполне определенных классов руд с довольно точным составом, улучшением работы заводских и рудничных складов, ж. д. транспорта и химических лабораторий.

Мы рассмотрели здесь лишь некоторые, наиболее распространенные случаи регулирования хода домы изменением состава шихты. Повторяем, перешихтовка — далеко не единственный способ регулировки работы печи, и к этому средству надо прибегать лишь как к последнему после испробования других — изменения температуры и количества дутья, а также и некоторых других мер.

Мы не рассматриваем здесь множества самых разнообразных приемов шихтовок и перешихтовок. Все это имеет уже специальный интерес. Нам же здесь надо было только показать, каким образом можно шихтой менять ход печи.

Теперь надо рассмотреть, как физические и прочие свойства шихты и топлива могут повлиять на работу печей.

Печь будет работать хорошо только в том случае, если шихта будет во всех своих частях одинаково хорошо обрабатываться газами. Газы, образуясь в горне от сгорания кокса в струе дутья, поднимаются отсюда к колошнику сквозь столб плавильных материалов. Соприкасаясь на пути с этими материалами, газы проводят двойную работу: во - первых, они восстанавливают железо из руды, т. е. отнимают кислород от химических соединений железа с кислородом, оставляя чистое железо; во - вторых, они согревают шихту, отдавая ей значительную часть содержащегося в них тепла.

Надо, чтобы газы на своем пути от горна к колошнику лучше смывали шихту и притом равномернее: чтобы все части шихты в одинаковой и возможно большей степени подвергались указанному действию газов и чтобы все части газа достаточно полно и наиболее равномерно были использованы в доменной печи.

Хорошая и плохая обработка шихты узнается очень хорошо по составу и температуре колошникового газа, оставляющего печь.

Газ горна состоит, в основном, из бездеятельного азота (пришедшего сюда из воздуха через фурмы) и окиси углерода (СО). Эта последняя, представляя собой соединение одного атома углерода с одним атомом кислорода, может присоединить к себе еще один атом кислорода, давая углекислый газ (СО₂). Этот газ кислорода к себе больше присоединить уже не может. Из способности окиси углерода присоединять еще кислород и вытекает восстановительная способность газа доменной печи: именно СО, действуя в печи на встречаемые восстанавливающиеся в условиях доменной печи окислы (содержащиеся в сырых материалах доменной плавки), отнимает от них кислород, давая СО₂.

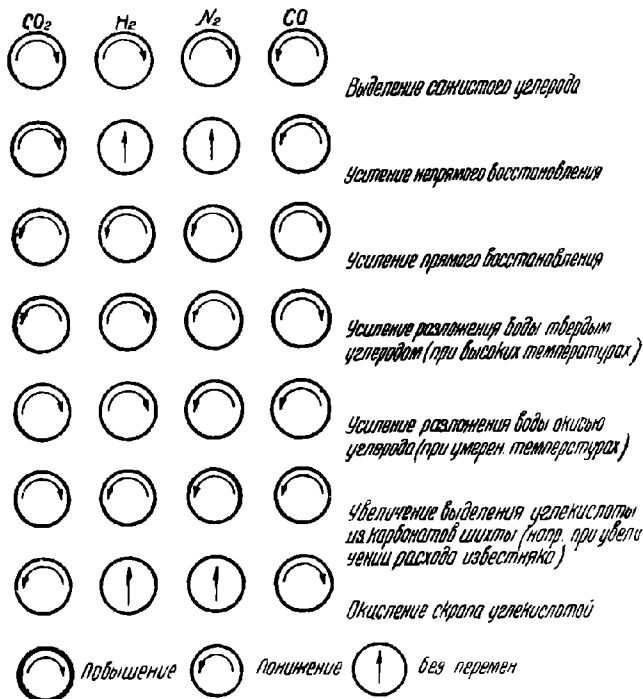
Таким образом, чем больше в окончательном колошниковом газе углекислоты (СО₂), тем он лучше использован в печи как восстановитель, а чем ниже его температура при выходе из печи, тем он лучше использован как теплопередатчик, должествующий подогреть шихту, спускающуюся в горн. Ясно, что чем газ в печи лучше используется, тем ход печи лучше, тем ниже расход кокса на единицу чугуна и выше суточная производительность. Для иллюстрации этой мысли приведем в таблице пример данных о работе средней по размеру доменной печи юга СССР, проплавляющей мартеновский чугун из криворожских руд на донецком коксе (без скрапа).

Ход печи	Суточная производит. в тоннах	Расход кокса	Содержание в газе	
			СО ₂	СО
			В процентах	
Хороший	500	0,90	12	27
Средний	450	1,00	10	29
Плохой	400	1,10	8	31

В последнем столбце дано еще содержание СО в газе. Очевидно, что так как при восстановлении СО переходит в СО₂, то чем больше СО₂, тем меньше СО, и наоборот. Сумма их в газе всегда приблизительно, постоянно и составляет 39 - 40%. Для других условий плавки (отличных от взятого примера) цифры могут быть иные, но общая закономерность остается тою же.

Поэтому для контроля работы доменной печи важнейшее значение имеет постоянное наблюдение за составом и температурой колошникового газа. Заводы ставят для этого непрерывно действующие регистрирующие газоанализаторы и термографы, которые на непрерывно движущихся лентах записывают изменения в составе и температуре колошникового газа. Значение этих приборов для производства огромно, но, к сожалению, у нас не везде еще они имеются, а там, где имеются не всегда правильно используются.

[Отметим попутно, что показаниями газоанализаторов, при умелом их использовании, можно обнаружить не только то, как печь идет в настоящий момент, но и почему в ней происходят те или иные процессы, а также и то, что можно ожидать в недалеком будущем. При этом если газоанализаторы указывают не



Фиг. 1а. Использование показаний газоанализаторов для суждения об изменениях хода печи по анализу колошникового газа

только содержание CO_2 , но еще CO и H_2 , можно увидеть, что не во всех случаях, например, увеличение CO_2 уже означает улучшение работы печи.

На приводимой фиг. 1а, взятой из одной работы немецкого металлурга Банзена, дан ряд примеров того, как, пользуясь показаниями газоанализаторов, можно обнаружить те или иные серьезные изменения в ходе процесса.

Лицам, знакомым уже с теорией процесса (хотя бы по книге автора „Теория доменного процесса“) указанные на фигуре изменения в ходе процесса будут понятны. Лица же, непонимающие этих названий, могут весь настоящий раздел опустить без вреда.

так как в дальнейшем он не используется. На фиг. 1а стрелка, направленная вправо, указывает, что данная составная часть колошникового газа увеличилась, влево — уменьшилась. Стрелка вертикальная говорит о неизменности в газе данной его составной части. Например, первая строка говорит, что если в газе увеличилось содержание CO_2 , H_2 и N_2 , а CO — уменьшилось, то происходит выделение сажи и углерода (отчего можно ожидать, например, зависания).

Надо отметить, что лучшие регистрирующие газоанализаторы (напр., Мопо) могут дать только содержание CO_2 , CO и H_2 в газе. N_2 обычно находится по разности, — до 100%, имея в виду, что в сухом газе может быть еще около 0,5% CH_4 .

Из всего сказанного очевидно, что обработка шихты газами будет тем лучше, чем равномернее газы будут двигаться сквозь шихту и чем в большем числе точек, т. е. на большей поверхности, газы будут соприкасаться с материалами шихты.

Чем больше размер кусков материала, тем с относительно меньшим числом частичек этого материала газ будет соприкасаться, так как соприкосновение возможно только с поверхностью кусков, а при больших размерах кусков огромная масса всего материала находится, так сказать, внутри и недоступна действию газа. Поэтому при крупных размерах кусков руда доходит до распара еще плохо прогретой и отдавшей мало своего кислорода. Большие куски кокса прогреются также мало, куски известняка еще не разложатся, не обожгутся достаточно. Газы при этом, проскользнув вверх между крупными кусками, уйдут из печи еще горячими и плохо использованными.

Поэтому руда и известняк должны дробиться, если только они добываются в кусках больших размеров. Считается, что в доменную печь нельзя допускать руду в кусках более 70 — 80 мм в поперечнике, а известняк — более 100 — 150 мм. Многие считают даже, что самой лучшей была бы руда в поперечнике 30 — 50 мм и меньше, а известняк в 50 — 100 мм и меньше.

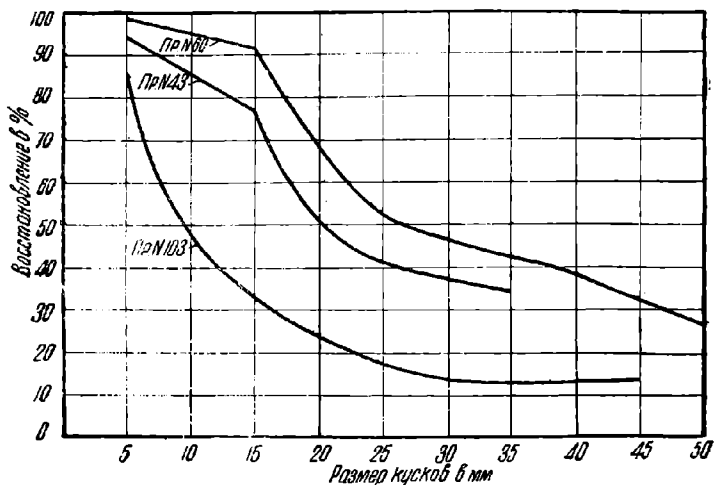
Недавно были произведены исследования „восстановимости“ криворожских руд, т. е. определение того, насколько быстро они способны отдавать тот кислород, который в них химически связан с железом¹. Оказалось, что это свойство руд зависит от их химического и минералогического состава, но последние у большинства криворожских руд более или менее постоянны. Не менее важно влияние размера кусков руды. Приводимая диаграмма (фиг. 2) показывает, как изменяется с размером куска руды процент железа, восстановленного из окисла в этом куске при температуре 800°, если восстановление ведется 30 мин. в токе чистого водорода, движущегося со скоростью 1,2 см/сек. Из диаграммы видно, что чем крупнее кусок руды, тем он хуже (и медленнее) восстанавливается. Диаграмма очень наглядно об-

¹ Работы проф. А. Н. Похвиснева и инж. М. С. Гончаревского в Днепропетровском институте металлов.

ясняет, почему многие считают, что допущение кусков руды даже в 70—80 мм в поперечнике тоже вредно и почему иногда требуют еще более мелкого дробления руд.

Дробление лучше всего производить механически — мощными механизированными дробилками. Когда их нет, надо организовать дробление вручную.

Что касается размера кокса, то куски в поперечнике более 100 — 150 мм тоже нежелательны. Наши новые коксовые печи



Фиг. 2. Изменение восстановимости руды с изменением размера кусков

обычно и дают кокс не более этого размера, но старые печи дают куски и большего размера. Вопрос о целесообразности дробления больших кусков кокса еще не разрешен, так как дробление здесь может оказаться вредным, вследствие уменьшения прочности кокса, играющей решающую роль в ходе домны. С другой стороны, многие считают, что кокс следует иметь в еще более мелких кусках, чем 100 мм.

Из того, что крупные куски следует дробить на более мелкие, вовсе не следует, что совсем мелкие руды, кокс и известняк желательны в работе домны. Наоборот, они крайне вредны. Мелкая руда выносятся из печи с колошниковыми газами, загромождает газопроводы, повышает расход руды на производство. Вынос ее нарушает правильно составленную с точки зрения ее химического состава шихту и этим непосредственно влияет на ход печи. Самый же наибольший вред рудной пыли в том, что она способна к слеживанию в печи в плотные непроницаемые для газа массы и легко закупоривает проходы для газов между крупными кус-

ками материалов. При рудах, содержащих наравне с пылью и куски, газы стремятся двигаться только там, где нет пыли, т. е. между кусками. В этом случае забитые пылью части шихты спускаются вниз, не будучи обработаны газами, а газы покидают печь, будучи плохо использованы. Получаем то же, что и при крупнокусковом материале, но только с гораздо более резко выраженными вредными последствиями.

Мусорный известняк и мелкий или мусорный кокс (тоже и легко растрескивающийся антрацит) точно так же вредят работе печи. Вред от них сказывается весьма заметно в заплечиках. Здесь образовавшийся жидкий шлак должен с определенной скоростью протекать вниз, способствуя тем продвижению и шихты. Мелкие кокс, антрацит или известняк, примешиваясь к густоватому еще шлаку, загущают его еще больше, замедляют сход, часто создают зависание, отчего печь снижает производительность, работает неровно, рывками или осадками. Ясно, что мелкие кокс и известняк вовсе не должны допускаться в домны. Больше того: механически слабые коксы и известняк, могущие в печи при движении, под давлением вышележащих слоев шихты, перетираться и раздавливаться, тоже не должны допускаться в доменные печи, а также весьма нежелателен антрацит, так как он в печи дает мусор. Даже при строительстве доменных печей и выборе подходящей для них высоты обязательно учитывают прочность применяемого горючего материала, и чем он слабее в данном районе, тем ниже строят печи, чтобы избежать перетирания и измусоривания топлива. При замене очень прочного кокса весьма слабым доменная печь, по наблюдениям, снижает свою производительность почти вдвое.

Обычно считается, что кусочки кокса меньше 30—40 мм нежелательны в домне, и поэтому весь кокс до подачи в печь должен быть пропущен через специальные сортировочные устройства, отсеивающие мелочь и мусор. При механизированной подаче сортировка кокса устраивается в виде так называемых „гризли“, представляющих собой вращающиеся в направлении движения кокса валики с зазорами между ними. Через эти зазоры и просеивается мелочь, так что в скип и на печь подается только крупный кокс. При отсутствии механизации весь кокс должен обязательно подаваться через вилы, со встряхиванием этих вил для того, чтобы вся мелочь просыпалась.

Иногда в доменные печи дают, кроме крупного кокса, еще так называемый „орешник“ — кокс, размерами от 15—20 мм до 30—40 мм. Такой орешник, вообще говоря, нежелателен, так как он не улучшает, а скорее ухудшает ход печи. С ним можно иногда мириться только как с временной мерой при недостатке хорошего кускового кокса.

Для того, чтобы иметь представление о механических свойствах кокса и знать, не перетрется ли он в печи, отдельную пробу каждой партии кокса подвергают испытанию на истираемость в специальных вращающихся барабанах, составленных из прутьев, зазор между которыми равен 25 мм. В барабан насыпается 410 кг

кокса и после 150 оборотов барабана определяется, сколько кокса осталось в нем, т. е. не просыпалось через зазоры между прутьями. Вес остатка служит мерою прочности кокса: чем этот остаток больше, тем прочнее считается кокс, т. е. тем лучше он сопротивляется истиранию.

Современные южные коксы из углей Донбасса дают эту „барабанную“ пробу порядка 310—330 кг., т. е. из навески в 410 кг после 150 оборотов в барабане остается 310—330 кг (75—80%), а остальное просеивается между прутьями. Такой кокс считается вполне хорошим. Худшие коксы дают барабанную пробу ниже 300 кг (например, отдельные сорта донецких коксов, или кокс кузнецкий имеют барабанную пробу 270—290 кг).

Барабанная проба указывает на сопротивление кокса истиранию, так как при вращении в барабане куски кокса перетираются. Сопротивление его дроблению при падении в барабане испытывается в весьма малой мере, так как хотя он там и падает, но с очень небольшой высоты. Поэтому считается, что барабан еще не определяет прочности кокса и часто в дополнение к испытанию в барабане его подвергают еще сбрасыванию (четырекратно) с определенной высоты (1,83 метра) на чугунную плиту. После испытания весь кокс рассеивается на ситах 40 мм и 10 мм. По количеству крупных и мелких кусков судят о прочности кокса и с этой стороны. Иногда применяются специальные барабаны с перегородками внутри (например, барабан проф. Рубина), причем навеска здесь составляет всего 20 кг кокса, барабан гораздо меньших размеров, чем упомянутый выше, оборотов он делает 100. Поверхность барабана глухая, а все содержимое после вращения рассеивается на ситах. В последние годы при составлении характеристики механических свойств кокса особое внимание стало уделяться так называемой „трещиноватости“ его. Оказывается, что при вращении в барабане и даже сбрасывании с высоты кокс может по трещинам не расколоться, оставшись целым, а в печи при высоком нагреве и одновременных механических воздействиях куски трещиноватого кокса разрушаются, принося тот же вред, что и всякий механически слабый кокс. Были случаи, когда кокс с высокой барабанной пробой (310—330 кг) все-таки оказывался плохим и вызывал весьма серьезные расстройства хода печей (завод им. Ворошилова, доменная печь № 1 vis, осенью 1933 г.; „Запорожсталь“, летом 1934 г.), что заставило считать, что барабанной пробе можно верить только в том случае, если она говорит о низких механических качествах кокса. Но если барабанная проба высока — это еще не доказывает, что кокс, действительно, механически достаточно прочен при всех условиях в печи и во всех отношениях. Возникли предложения о дополнительных испытаниях кокса, в частности об определении его трещиноватости. Это определение сводится к сосчитыванию длин продольных и поперечных трещин на единицу поверхности куска кокса. Определения эти применяются только на некоторых заводах и пока указывают на соответствие между определенными

таким образом показателями трещиноватости и ходом печей: чем трещиноватость больше, тем более неровный ход домен.

Мелкий известняк, так же как и кокс, должен отсеиваться и не допускаться в печь.

Что касается руды, то (в наших условиях) просто не допускать в печь мелочь, отсеивая всю мелкую руду, нет смысла, так как большинство криворожских руд на 60—90% состоит из мелочи и пыли. В Германии отсеивают всю руду менее 5—8 мм и подвергают ее окускованию. Таким образом, в доменную печь подают только оставшуюся от отсева кусковую руду не менее 5—8 мм в поперечнике и не более 70—80 мм вместе с брикетами или аггломератом, полученным из отсеянной мелкой руды и колошниковой пыли.

Для таких заводов, как металлургические заводы юга СССР, работающие на пылевой руде, важнейшим мероприятием по улучшению шихты является отсев от руды мелочи и затем обращение этой мелочи в куски.

У нас в СССР не все еще металлургические заводы имеют фабрики для окускования рудной пыли. Есть одна аггломерационная фабрика на Урале. Недавно пущены в работу аггломерационные фабрики на заводах им. Кирова (Макеевка) и им. Дзержинского (Каменское). Строится агглофабрика в Камыш-Буруне (близ Керчи).

Спекание или аггломерация сводится к просасыванию воздуха через увлажненную смесь рудной или колошниковой пыли с горючим при высокой температуре — около 1200—1400°. При этом происходит спекание мелочи в куски весьма прочные и очень пористые. Такие пористые куски будут очень хорошо обрабатываться газами и явятся прекрасным материалом для доменной шихты.

Спекание происходит либо в специальных чашах, попеременно то наполняющихся массой, то опорожняющихся, либо на непрерывно действующих машинах конвейерного типа. Производительность таких машин достигает иногда до 2000 тонн аггломерата в сутки.

Таким образом, при хорошей подготовке рудная часть доменной шихты состоит из кусков руды размером не более 80 мм и не менее 5—8 мм и весьма пористых и прочных кусков аггломерата, примерно, тех же размеров.

Современные опыты показали, однако, что даже и такая шихта тоже не совсем однородна по своим свойствам, так как газы и ее омывают еще не совсем равномерно, стремясь двигаться между кусками наибольшего размера, образующими между собою наиболее широкие каналы. В стремлении достигнуть большего однообразия, доменщики практикуют рассортировку рудной шихты по размеру кусков на несколько фракций и подают каждую фракцию в отдельности, самостоятельными подачами, ни в коем случае не перемешивая между собою руды разных фракций. Если, например, всю руду, состоящую из кусков в поперечнике от

8 до 30 мм, рассортировать на три фракции так, чтобы в первой была руда от 8 до 20 мм, во второй — от 20 до 50 мм и в третьей — от 50 до 80 мм, то каждая такая фракция будет уже иметь куски более или менее одинакового размера. Когда куски одной фракции будут засыпаться в печь, они лягут довольно ровным слоем, а для газов будут по всему слою представлять довольно равномерное сопротивление, почему газы равномерно же через них и будут двигаться.

В Германии пробовали даже сортировать не только одну руду, а, смешивая кокс, известняк и руду, рассортировывать их только по размеру кусков, причем это дало самые благоприятные результаты.

Для общего представления о том, какой эффект может получиться от физической подготовки сырья, приведем несколько цифровых примеров из практики работы доменных печей США, Германии и СССР.

В США во время опытной доменной плавки, при сортировке руды на 2 класса по размеру кусков, получилось увеличение производительности на 20%, а при сортировке на три класса — на 26—28% (причем уменьшение расхода кокса составляло в первом случае 11—13%, а во втором — 18%). Аналогичные опыты, проведенные в 1929 году у нас на заводе им. Дзержинского (Запорожье — Каменское), дали при сортировке руды на две фракции увеличение производительности на 12%.

Агломерация пылеватых руд и концентратов дала в Соединенных Штатах Америки увеличение производительности печей на 30—35%, снижение расхода кокса с 1,15 тонны до 0,85 тонны на тонну чугуна и уменьшение выноса пыли в несколько раз.

На фиг. 3 приводится диаграмма, иллюстрирующая, по последним американским данным, влияние количества аггломерата в шихте на производительность печи, расход кокса и вынос колошниковой пыли.

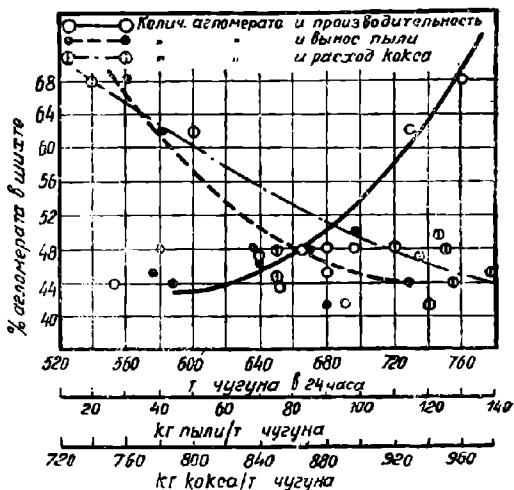
Представление о совместном влиянии дробления и аггломерации руд дает следующий пример из германской практики: когда рудная мелочь не спекалась, а крупная руда дробилась только на 61—68%, производительность печи составляла 177—186 тонн чугуна в сутки, расход кокса 1,09—1,13 тонны на тонну чугуна, а вынос пыли — 11% от веса материалов шихты. При 100% дроблении всей крупнокусковой руды и полной аггломерации всей рудной пыли производительность той же печи поднялась до 268—285 тонн (на 55%), расход кокса упал до 0,86—0,9 (на 20%, а вынос пыли — до 1,7—2,2% (в 5-6 раз). Специально влияние дробления руды в условиях СССР может быть продемонстрировано данными опытной плавки в 1929-30 году на Сулинском заводе (с участием антрацита в качестве торючего), когда при работе на дробленной кусковой руде получили, в сравнении с обычной работой, увеличение производительности печи на 37%, снижение расхода кокса на 16% и руды — на 11%. Наконец, последние немецкие данные о работе на шихте, рас-

сортированной по размеру кусков (так называемая „шихтовка на физических основах“), говорят о снижении расхода кокса при этом с 0,919 тонны до 0,815 тонны на тонну чугуна (т. е. на 11,2%).

Вот какие результаты дают сортировка, дробление и окускование доменной шихты.

Для сортировки всей шихты на фракции, для дробления кусковых руд, для отсеивания мелочи и спекания ее нужны весьма сложные устройства.

Устройства эти у нас запроектированы и во многих местах строятся. Но и на заводах, где еще пока всего этого нет, можно уже сегодня очень многое сделать для подготовки шихты: дробление крупных кусков руды и известняка вручную; подача кокса и известняка вилами; тщательная отборка кокса с тем, чтобы в печь не попадал кокс-брак, видимый в виде недопада, пенки, губки, наконец, подача отдельно кусковой руды из отката в каждую третью или четвертую подачу, — все эти меры вполне доступны и сегодня. Их любой десятник, любой каталь могут осуществить у себя же в цеху.



Фиг. 3. Влияние количества аггломерата в шихте на производительность печи, вынос пыли и расход кокса

ЗАСЫПКА МАТЕРИАЛОВ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ

Среди ряда условий, определяющих работу печи, загрузка материалов на колошнике является одним из важнейших.

В шахте доменной печи происходит значительная часть работы по восстановлению железа из его окислов. В заплечиках и горне восстанавливаются уже только те количества железа, которые не успели восстановиться в шахте, и при этом расходуется очень много тепла, между тем в шахте восстановление происходит без поглощения тепла. Поэтому считается весьма желательным достигнуть возможно большего восстановления железа и его окислов в шахте, т. е. при умеренных температурах.

Работа шахты сводится не только к восстановлению. Не менее важно еще и то, что в шахте материалы нагреваются восходящими от горна к колошнику горячими печными газами. Чем

полнее и равномернее успеет шихта нагреться в шахте, тем равномернее будут идти затем в заплечиках и горне реакции и превращения, завершающие доменный процесс, тем экономнее будет протекание реакций, требующих затраты известного количества тепла (окончание восстановления железа; восстановление кремния и марганца; шлакование серы и другие процессы).

С другой стороны, газы должны лучше отдать содержащееся в них тепло шихте, так как все неотданное тепло будет затем унесено ими в колошник и уже пропадет бесполезно. Поэтому возможно более полная отдача тепла газами шихте нужна и для рационального протекания технологического процесса, и для экономии тепла и топлива.

Отмечая важность этого процесса, мы выше нашли, что для оптимального его протекания необходимо шихте придать известные физические и механические свойства (кусковатость, прочность, газопроницаемость) и приводили примеры того, как эти свойства доменной шихты могут повлиять на состав колошникового газа.

Здесь можно еще указать, что в соответствии со сказанным находится и температура колошникового газа: чем шихта равномернее омывается газами и чем, следовательно, лучше будет использовано содержащееся в них тепло, тем ниже будет температура колошникового газа и наоборот: при равномерной и максимальной отдаче тепла от газов шихте температура колошникового газа может составить всего 100—150—200°, в то время как при неизменных всех прочих условиях, но при неудовлетворительной теплоотдаче, температура газа достигает 300—400° и выше.

Здесь важно не только иметь подготовленную шихту. На наших заводах еще шихта подготовлена плохо. Однако, печи сплошь и рядом работают вполне удовлетворительно.

Достигается это рядом условий и, между прочим, правильным распределением материалов на колошнике при загрузке. При неподготовленной руде, состоящей из кусков разных размеров и мелкой пыли, распределение шихты при загрузке оказывает часто решающее влияние на работу печи.

Наиболее распространенным на доменных печах прибором, загружающим материалы в печь, является общеизвестный аппарат Парри, состоящий из воронки и конуса. Полагая, что схема работы его известна, остановимся на процессе распределения материалов, даваемого этим аппаратом. Мы изложим этот процесс схематично.

Падая в печь, материалы, смотря по обстоятельствам, могут совершать движение от конуса до места своего падения по различным путям. При достаточно медленном опускании конуса, первыми проскользнут мелкие частички, и провалившись через небольшую пока щель, упадут почти вертикально¹, расположив-

¹ Фактически они будут двигаться по какой-то кривой линии, близко сходной с вертикальной прямой. В нашем схематическом изложении можно говорить, что мелочь будет падать почти вертикально*.

шись, следовательно, по кольцу, под кромку конуса. За ними будут падать и более крупные куски, причем путь их уже не будет вертикальным, он будет представлять собою какую-то кривую линию (параболлу), причем отклонение ее от вертикали будет разное, в зависимости от разных обстоятельств: угла наклона образующей конуса, шероховатости поверхности куска материала; от того, где этот кусок на конусе лежал до начала опускания конуса и какой груз на него при этом действовал; наконец, отклонение кривой от вертикали зависит и от веса самого куска. В общем, более крупные куски опишут кривую, наиболее отклоняющуюся от вертикали (см. фиг. 4.)

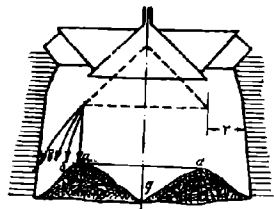
Следовательно, при падении всех материалов (самого разнообразного размера кусков) с конуса в печь, они расположатся так, что кусковатость будет убывать — от стенки (где будут большие куски) до кольца, расположенного под кромку конуса. От этого кольца и далее к оси печи размер кусков снова начнет возрастать.

Как известно, в любой насыпанной куче материалов, состоящей из кусков и мелочи, мелочь всегда задерживается на поверхности, а куски откатываются к подножию кучи (это можно видеть на любых складах материалов, например, на складах угля, рудных эстакадах и бункерах и др.). Также и в печи „гребнем“ (вершиной кучи) будет место первоначального падения мелочи (кольцо под кромку конуса), и от этого гребня кусковый материал будет откатываться вниз, — отчасти к стенкам, главным же образом к оси печи.

Таким образом, куча засыпанных в печь аппаратом Парри материалов, представляет собой обращенную вершиною вниз воронку, имеющую, однако, еще скаты от гребня и в стороны к стенкам. Куча состоит из мелочи на гребне и кусков на скатах, при чем размер кусков тем больше, чем дальше они лежат от гребня.

Надолго ли сохраняется это распределение материалов по мере опускания всей толщи вниз?

Такое распределение, в общем, сохраняется почти до самого начала расплавления шихты, т. е. до распара, хотя в отдельных частях оно и может несколько измениться. Наиболее тяжелые части шихты (главным образом руда, сварочные шлаки) стремятся



Фиг. 4. Распределение материалов при загрузке конусом Парри, когда зазор γ велик. Линиями со стрелками показаны направления падения материалов с конуса: пыль падает почти вертикально, куски — по кривым, тем более отклоняющимся от вертикали, чем крупнее кусок; a — кольцо под кромку конуса („гребень“), состоящее из мелкого материала; b — материал несколько более крупный; c — еще более крупный, стремящийся собраться у стенок; куски собираются также и вдоль оси печи, в месте d . Наличие крупных кусков у стенок вызывает движение больших количеств газов здесь и является большим недостатком, причина которого — слишком большая величина зазора γ

двигаться вертикально, оттесняя в стороны более легкие части (кокс). Мелкие части шихты (пылеватая руда) движутся также вертикально, просыпаясь между кусками. Таким образом, только от кусков кокса можно ожидать заметных горизонтальных перемещений, т. е. оттеснения (кокса) к стенкам. Это расползание кокса в стороны облегчается еще расширением шахты сверху вниз.

Удовлетворительна ли нарисованная картина распределения с точки зрения рационального протекания доменного процесса?

Когда-то думали, что надо стремиться достигнуть на колошнике совершенно равномерного по размеру кусков распределения материалов. Однако, к равномерному распределению стремиться не зачем, оно, как мы видели, и технически невозможно при аппарате Парри. К тому же и равномерное распределение не гарантирует равномерного омывания шихты газами. Последние при этом условии стремятся двигаться вдоль стен, поскольку здесь, при прочих равных условиях, сопротивление движению газов меньше, чем в слое шихты (стенки ровнее, глаже шихты).

Следовательно, равномерное распределение материалов нецелесообразно, а при аппарате Парри и невозможно.

Но описанное выше распределение, при котором кусковые материалы падают у стенок и откатываются еще к стенкам и оси, также неудовлетворительно. (Оно может оказаться приемлемым только в исключительных случаях, когда ход печи надо выправить, направив временно главную массу газов у стен).

Если расстояние между кромкою конуса и стенкою колошника (r на фиг. 4) будет относительно велико, в кольцевом зазоре, соответствующем этому расстоянию, расположится много кускового материала. Ясно, что при этом газы будут двигаться преимущественно вдоль стенок. Они здесь встретят наименьшее сопротивление своему движению. Шихта останется необработанной газами, а кладка шахты пострадает и быстро разрушится.

Чтобы кусковой материал не откатывался в заметном количестве к стенке, чтобы он при падении, ударившись о стенку, отбрасывался бы подальше от нее (см. фиг. 5), расстояние r должно быть не больше известной величины. Практика работы доменных печей юга СССР говорит о нецелесообразности делать это расстояние более 850—900 мм, но и менее 600 мм его также не рекомендуется делать.

Этой чисто конструктивной мерой еще не исчерпывается все, что можно сделать для достижения равномерной обработки шихты газами.

Основная цель — достигнуть того, чтобы шихта равномерно нагревалась и восстанавливалась по мере опускания ее вниз. Это значит, что кускам больших размеров должны соответствовать и большие количества газов, мелким кускам — меньшие их количества.

С другой стороны, ход печи не должен быть слишком периферийным (когда газы движутся у стенок и плохо обрабатывают

шихту), но не должен быть и слишком центральным (когда газы движутся преимущественно вдоль оси печи, где мало руды и много кокса).

Каким в каждом отдельном случае должно быть количественное распределение газов по сечению печи,— решать теоретически или расчетом трудно. Наука еще не обладает достаточно точными для этого данными.

Однако, практически вопрос решается подбором удачного распределения кусков и мелочи при загрузке материалов на колошнике и соответствующей подачей дутья на фурмах.

Если у стенок идет чрезмерно много газа, или то же имеет место у оси печи, ненормальная работа узнается по составу газа (в нем слишком много CO и мало CO_2), по высокой температуре, иногда — еще по некоторым показателям.

Доменщик имеет возможность в таких случаях сравнительно легко изменить количественное распределение газов по сечению, направив их, смотря по нужде, более к периферии, или более к оси.

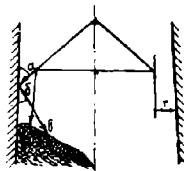
При этом он изменяет при загрузке распределение материалов по кусковатости, или распределение дутья — по количеству — в горне, на горизонте фурм.

Расположение уровня материалов, расстояние его от конуса существенно влияет на распределение материалов по кусковатости при загрузке.

Если печь держать всегда полную, т. е. следить за тем, чтобы уровень засыпи близко подходил к конусу, путь падения материалов с конуса в печь будет минимальным. При этом кокс будет мало дробиться, что очень хорошо. Казалось бы, что при этом и использование газов будет наилучшее, — они как будто до самого момента оставления ими печи будут омывать шихту. Однако, опыт показывает, что иногда держание уровня шихты на 1-2 метра ниже конуса вызывает лучшее использование газов, чем при совершенно полной печи. На это указывают и более низкая температура газа и его сравнительное богатство углекислотой (CO_2) и вообще лучший ход печи в ряде случаев.

Объясняется это явление тем, что при полной печи и коротком пути падения материалов куски шихты легко откатываются к периферии, создавая здесь легко проникаемые для газов каналы. Чем выше уровень засыпи, тем дальше от стен лежит гребень и тем более газопроницаема периферия.

Ниже приводится примерная таблица, которая показывает, как далеко от проекции большого конуса располагается гребень при разном расстоянии уровня засыпи от верхнего положения конуса и при разных углах конуса.



Фиг. 5. Распределение материалов конусом Парри при условии, что зазор r невелик. По линии a, b, c падает и, ударившись о стенку, отражается кусковой материал. При небольшой величине r к стенке попадает уже мало кусков, здесь сосредоточивается, главным образом, мелочь („гребень“ — у стен), а куски откатываются к оси печи

Угол наклона конуса $\alpha = 45^\circ$		Угол наклона конуса $\alpha = 50^\circ$	
Уровень засыпи в мм от верхнего положения большого конуса	Расстояние в мм от проекции кромки большого конуса до гребня ¹	Уровень засыпи в мм от верхнего положения большого конуса	Расстояние в мм от проекции кромки большого конуса до гребня ¹
<i>d</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>b</i>
2000	860	2000	700
1800	850	1300	690
1500	820	1000	650
1400	800	800	610
1200	775	700	560
1000	740	600	470
900	700	—	—
800	660	—	—
700	600	—	—
600	500	—	—
500	400	—	—
400	300	—	—
300	140	—	—

Примечание. Буквы соответствуют размерам, указанным этими же буквами на фиг. 6 и 7.

Данные этой таблицы также нанесены на диаграмме, изображенной на фиг. 7.

Таким образом, если, например, зазор между конусом и стенкой колошника равен 750 мм, а угол наклона конуса — 45° , то гребень материалов будет у стенки при расположении уровня сыпи на один метр, приблизительно, ниже большого конуса. Но если зазор больше и составляет 850 мм, то придется уровень держать ниже на расстоянии, приблизительно, двух метров от большого конуса, чтобы получить такое же расположение гребня пылеватых материалов у стенок.

Иногда, в интересах сохранения кладки и для избежания периферийного хода печи, приходится стремиться к сосредоточению пылевой руды у стенок и, следовательно, держать уровень засыпи на 1-2 метра ниже конуса.

При неполной на 1-2 метра печи гребень располагается близко от стен, а все куски скатываются к оси (см. фиг. 6). Однако, если уровень засыпи опустить уж слишком глубоко — на 5-6 и более метров, гребень опять удаляется от стен и дает кольцевой зазор на периферии.

Опытом устанавливается, какая в каждом конкретном случае нужна высота уровня засыпи. При благоприятных составе и анализе газа имеет место как раз то распределение материалов по кусковатости, которое соответствует благоприятному же с

¹ „Проекцией кромки большого конуса“ называется точка пересечения вертикали и кромки конуса с уровнем засыпи. (Данные инж. Н. Л. Гольдштейна (Днепроп. институт металлов).

точки зрения равномерного нагрева и восстановления распределению газового потока в шихте.

Распределение газового потока можно регулировать также и весом подачи („колоши“).

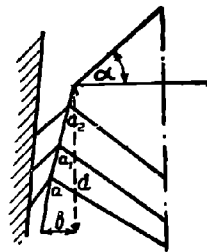
Как известно, руда имеет более крутой угол откоса, чем кокс. Когда руда и кокс переменнно загружаются в печь, они располагаются так, как указано на фиг. 8.

При этом, если вес подачи взят достаточно большой, руда может полностью перекрыть весь кокс (см. слева фиг. 8). При небольшом весе подачи руда скопляется, главным образом, на периферии, до центра же она не доходит. Следовательно, при этом в центре получается столб исключительно кускового материала (главным образом кокса), легко пропускающего газы (см. справа фиг. 8), которые движутся без пользы, так как здесь нечего восстанавливать¹.

Поэтому так называемая „легкая“ колоша ведет к центральному ходу печи. Во всех тех случаях, когда по характеру загрузки печь имеет склонность к периферийному ходу, можно эту тенденцию ослабить, уменьшив колошу кокса, а также соответственно расчёту шихты колошу руды и флюса. Наоборот, чрезмерное стремление печи итти центром, указывает на целесообразность укрупнения подачи, что, между прочим, всегда и делается в случаях, когда у печи появляется склонность итти „трубою“. Большим количеством одновременно даваемой руды в этом случае можно засыпать образовавшуюся „трубу“.

Из всего сказанного видно, что, кроме конструктивных мер (зазор между конусом и стенкою), есть еще и ряд мер эксплуатационных (уровень засыпи, размер колоши), которыми можно регулировать распределение материалов при загрузке, а тем самым и распределение газов в шихте. Обычно путем опыта после задувки печи производственники устанавливают наилучшую по весу подачу и наилучший уровень засыпи и уже придерживаются найденного режима в течение всей кампании печи. Полезно, однако, и систематически пользоваться возможностью менять уровень засыпи и вес колоши, как средствами регулирования хода печи.

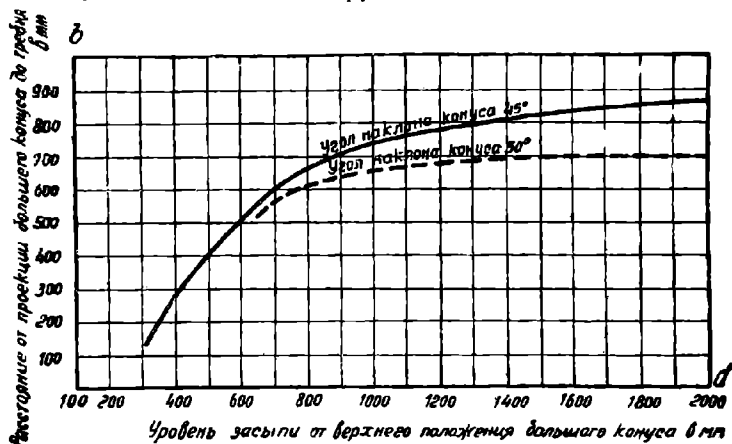
Отметим, что в руках конструкторов и производственников доменщиков имеются еще и другие меры регулирования распределения материалов на колошнике: угол наклона конуса, глуби-



Фиг. 6. Изменение расположения „гребня“ по мере поднятия уровня засыпи: чем выше уровень, тем „гребень“ (a , a_1 , a_2) дальше отстоит от стенки, почему зазор между „гребнем“ и стенкой заполняется кусковым материалом, а это ведет к периферийному ходу печи (схема изображена не в масштабе)

¹ На современных больших печах этого уже не бывает, но на малых печах при больших колошах руда перекрывала кокс.

на его опускания при загрузке шихты, скорость этого опускания, порядок подачи кокса, руды и известняка на колошник,



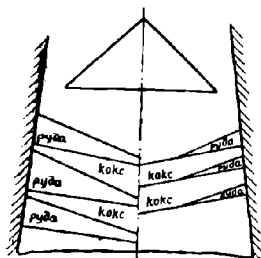
Фиг. 7. Расположение "гребня" в зависимости от глубины уровня засыпи

влажность шихты и др. обстоятельства существенным образом могут влиять на распределение.

Однако, засыпной аппарат Парри, удовлетворительно действующий при сравнительно небольших печах и дающий при этом возможность широкого изменения распределения материалов при загрузке, может стать мало пригодным по мере увеличения размеров и производительности доменных печей.

Увеличивая печь, приходится увеличивать и размеры ее колошника, иначе скорость газа и температура его на колошнике будут непомерно велики, да и ход печи будет ненормальный, кампания ее сократится, вылет пыли будет очень большой.

Если у нас в Союзе современные печи, построенные до ввода в строй типовой печи, имели диаметры колошника 4,5—5,5 метра, то типовая печь уже имеет 5,4—5,7 метра. Печи Магнитогорского завода—6,1 метра, а вторая типовая печь—6,3 метра, но и этот размер считается рискованным и в практике встречается очень



Фиг. 8. Распределение материалов на колошнике при большой (слева) и малой (справа) колше кокса

¹ Угол, образуемый свободной поверхностью кокса с горизонтом, составляет 26°, угол руды с горизонтом—36°—43° (на фиг. 8 эти углы не выдержаны в точности, но смысл от этого не изменяется).

редко. Таким образом, диаметр колошника, увеличение которого сверх известного предела недопустимо, как будто лимитирует дальнейшее увеличение размеров и производительности печей (конечно, строительство сверхмощных домен лимитируется еще и рядом других условий, но диаметр колошника — одно из важнейших).

С дальнейшим увеличением колошника необходимо увеличение и диаметра конуса (для сохранения постоянного зазора между конусом и стенкой колошника). Но с увеличением конуса значительно возрастает и находящаяся под ним поверхность, фактически непосредственно материалами не засыпаемая. Эта поверхность, как говорилось, представляет собой воронку, обращенную вершиной вниз и состоящую, главным образом, из кокса-отката. Чем больше диаметр конуса, тем глубже эта воронка, чем меньше в нее будет скатываться мелочи и мелкокускового материала, тем относительно больше в ней будет кускового кокса и тем более она будет проницаема для газов. Такая печь будет иметь тенденцию работать центральной „трубой“ при условии, что засыпка руды будет собираться, главным образом, на периферии (см. распределение, указанное на фиг. 8 справа).

По этой причине современная техническая мысль доменщиков направлена в сторону изыскания нового засыпного прибора, который, в отличие о прибора Парри, дал бы засыпку плавильных материалов и к оси печи, не увеличивая при этом заметно количества руды на периферии.

Надо отметить, однако, что с переходом наших доменных печей на работу на подготовительной шихте (состоящей из кусковой сортированной руды и агломерата), в значительной мере отпадут соображения о непригодности прибора Парри при колошнике большого диаметра. При равномерной кусковатости шихты исчезнет сортировка в печи на куски и мелочь, осуществляемая аппаратом Парри. При этом, следовательно, один из недостатков прибора Парри при большом колошнике отпадет. Но и другой недостаток — сосредоточение шихты на периферии (фиг. 8 справа) отпадет также в значительной степени, так как разница между углами откоса кусковой шихты и кокса будет гораздо меньше, чем теперь между пылеватой рудой и коксом.

ДУТЬЕ В РАБОТЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Доменная печь питается не только через колошник. Значительная часть потребляемого ею материала подается в горн через фурмы. Этим материалом является сжатый и нагретый до достаточно высокой температуры воздух (дутье). Насколько велико, в сравнении с прочими материалами, количество подаваемого дутья и насколько велико, в сравнении с прочими выдаваемыми из печи продуктами плавки, количество газов, можно заклю-

читать из приводимой ниже примерной таблички материального баланса доменной печи, работающей в условиях юга СССР и выплавляющей мартеновский чугун.

Материальный баланс на 100 кг чугуна¹

Печь потребляет материалов	Кг	Печь выдает продуктов плавки	Кг
Руда и прочие материалы . . .	170	Чугун	100
Известняк	45	Шлак	60
Кокс	105	Газ (с влагой)	540
Дутье	400	Колошниковая пыль	20
Итого . . .	720	Итого . . .	720

Из таблицы видно, как велика роль (в весовом отношении) газообразных веществ в работе доменной печи. Среди потребляемых печью веществ, газообразное (дутье) составляет 55% по весу, среди выдаваемых (колошниковый газ) — 75%. Неудивительно поэтому, что количество дутья, его температура и давление, а также и способ его подвода (диаметр, высов и внутренний профиль фурм, расстояние между ними по окружности горна) играют существеннейшую роль в режиме домны.

Горн доменной печи является источником, питающим газами всю печь. Именно здесь дутье окисляет углерод кокса, давая в конечном счете горячие газы (температурой 1600° и выше), состоящие, главным образом, из окиси углерода (CO) и азота (N₂). Здесь же, в горне, имеют место наивысшие в печи температуры, здесь происходит окончательное образование шлака, восстановление трудно восстанавливаемых элементов и шлакование серы. Именно здесь лежит источник движения шихты от колошника вниз, так как здесь происходит выгорание кокса и постепенное замещение освобожденного им пространства продуктами, спускающимися из более высоких горизонтов печи.

Существенное значение имеет, как уже неоднократно говорилось, чтобы газы, поднимаясь из горна вверх, возможно полнее омывали всю встречающуюся им шихту, а шихта при этом спускалась бы сверху в горн в каждом месте в количествах, соответствующих количеству встречающихся ей газов.

Нужные равномерность и соответствие шихты и газов обеспечиваются не только правильной подготовкой шихты и рациональной ее загрузкой, но и соответственным подводом дутья, его температурой, а также и некоторыми иными обстоятельствами.

Режим доменной печи, следовательно, устанавливается в результате комплексного воздействия ряда условий — физических свойств шихты, ее загрузки, подачи дутья и других факторов.

¹ Вынос пыли предположен сравнительно небольшой. Часто он бывает больше, отчего и расход руды бывает больше приведенного в таблице.

Надо стараться достичь в каждом конкретном случае такого сочетания всех этих условий, чтобы ход печи был наилучшим: возможно более быстрым, с расходом минимума топлива и получением качественных чугунов. Благоприятного сочетания факторов можно достичь, если знать значение и роль каждого из них в работе печи.

Мы будем рассматривать в этом разделе роль количества дутья, его давления, температуры, а также формы истечения его в горн (в зависимости от типа фурмы).

Количество дутья, подаваемого в печь в единицу времени, определяет, по существу, интенсивность работы печи. Им определяется количество сжигаемого в единицу времени углерода топлива и, следовательно, скорость спуска материалов вниз и питания ими печи.

Чрезмерно большое количество дутья, равно как и недостаточное его количество, вредно отражаются на работе печи, нарушая нормальный ее режим. Если дать слишком много дутья, спорит чрезмерно большое количество кокса, материалы и полупродукты из вышележащих горизонтов слишком быстро будут спускаться вниз, приходя в нижние горизонты еще плохо прогретыми и недостаточно восстановленными. Здесь они потребуют много тепла на нагрев, восстановление и расплавление; тепла в горне окажется недостаточно для покрытия всей в нем потребности. Поэтому температура горна упадет, печь похолодает. Будет получаться холодный, малокремнистый и сернистый чугун и железистый, черный шлак.

Не лучшие результаты будут, если дать печи и очень мало дутья. Оно будет вытекать из фурм медленно. Образовавшиеся в небольшом количестве газы, имеющие незначительное давление, пойдут по пути наименьшего сопротивления, т. е. вверх.

В этом случае глубокие области горна и заплечиков будут прогреваться весьма плохо, так как газы, несущие тепло, к ним проникать не будут. Центральная часть печи поэтому начнет стынуть, периферийная же, по которой устремятся газы, будет ими прогреваться чрезмерно. Будет иметь место „кольцевой“ ход, следствием которого являются: чрезмерный износ кладки, расплавление настелей, при одновременном, также как и в первом случае, получении холодных чугунов (брак) и железистых шлаков.

Количество дутья, следовательно, надо назначать в соответствии с профилем печи, ее шихтой и маркой производимого чугуна. От назначенного оптимума отступать можно только в случаях особенной необходимости, причем отступления эти должны быть невелики и, по возможности, не очень длительны.

Из сказанного становится понятным, в каких случаях приходится прибегать к изменению количества дутья. Если увеличение количества его ведет к похолоданию печи, то уменьшение может несколько „согреть“ горн. Поэтому иногда сбавляют дутье в надежде несколько затормозить печь, лучше согреть матери-

алы, задержав их лишнее время в верхних горизонтах. Конечно, чрезмерное злоупотребление такой мерой может привести к обратным результатам — расстройству хода печи из-за кольцевого хода. Понятно, что в некоторых случаях кольцевого хода печи полезно дать ей увеличенное количество дутья. Следовательно, иногда и увеличение количества дутья может привести также к перегреву печи. Поэтому изменением количества дутья надо пользоваться умело.

Для решения вопроса о приблизительном количестве дутья на фурмах, нормальном для данной доменной печи, могут служить следующие примерные правила:

1. В час на 1 м² сечения горна печи должно подаваться на фурмы дутья от 2500 до 3800 куб. м, причем средней цифрой следует считать около 3300 куб. м воздуха (считая его при температуре 0 и атмосферном давлении). Указанные пределы все же нельзя считать крайними: в ряде случаев, смотря по обстоятельствам, возможны отступления за эти пределы. Вообще же колебания от среднего (3300 куб. м воздуха в час на 1 м² сечения горна) обуславливаются маркой (составом) выплавляемого чугуна, качеством руд и горючего, профилем печи и, наконец, наличием воздуходувных средств (например, очень часто дутья для нормальной нагрузки печи просто не хватает).

Если, например, печь имеет диаметр горна $d = 5$ м, то, в качестве первого приближения, ориентировочное количество потребного для нее дутья можно определить так:

$$\text{Площадь сечения горна: } \frac{3,14}{4} \cdot 5^2 = 19,6 \text{ м}^2.$$

Количество дутья на фурмах: $3300 \cdot 19,6 = 64680$ куб. м, округленно — 65.000 куб. м в час (на фурмах).

В действительности может оказаться, что в час понадобится дутья, учитывая ряд иных обстоятельств, несколько больше или несколько меньше. Та же печь, но при хорошо подготовленной шихте, потребует до 75000—80000 куб. м воздуха на фурмах (и больше).

2. Для дальнейшего уточнения этой величины может послужить еще и другой расчет. Он должен исходить из времени пребывания материалов в печи и их состава шихты и, таким образом, учитывать свойства материалов и качество выплавляемого чугуна. Приблизительное часовое количество дутья, учитывая эти обстоятельства, может быть вычислено по такой формуле:

$$q = \frac{3200 VK}{v \cdot t},$$

где q — количество дутья в час в куб. м (на фурмах),
 V — полезный объем печи (как его найти см. ниже),
 K — расход кокса на единицу чугуна,
 v — объем всех материалов (руды, кокса и известняка)
 (в куб. м на 1 т чугуна)
 t — время пребывания шихты в печи.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Величина V известна бывает заранее, если известно, в какой печи ведется плавка. K — известно из расчета шихты. Величину v можно найти по результатам расчета шихты, если известно, какой объем занимает 1 куб. м руды, кокса и известняка (а это в заводе всегда определяется и хорошо известно). Задаваться надо только величиной t , имея в виду качество сырья, марку чугуна и профиль печи. Среднее значение, для t (в условиях на неподготовленной шихте) при плавке мартеновского томасовского и бессемеровского чугуна 7—10 часов, при плавке литейных чугунов 10—12 часов, при специальных чугунах 12—14 часов и больше. При этом еще сплошь и рядом, при удачном профиле, прочном и малосернистом коксе и подготовленной шихте величина t может спускаться и до более низких значений. Например, за границей есть печи, для которых t составляет 6-7 и даже 5,3 часа (тоже имеет место и у нас на некоторых древесноугольных печах Урала).

Чем профиль печи больше приближается к цилиндру (чем круче заплечики), тем меньше будет время пребывания шихты в печи. При пологих заплечиках шихта будет задерживаться. Марка чугуна, как отмечено выше, сказывается на времени пребывания так, что чем „горячее“ чугун (т. е. чем больше кремния или марганца он содержит), тем величину t надо выбирать больше, так как для лучшего восстановления кремния шихту надо дольше задержать в печи.

Допустим, например, что выплавляется мартеновский чугун на шихте с расходом кокса 0,85; расходом кусковой руды и агломерата — 1,6, расходом известняка — 0,4 (расходом прочих материалов будем пренебрегать) в печи полезным объемом 930 куб. м (типовая).

Для определения v условимся, что 1 куб. м кокса весит 0,5 тонны, 1 куб. м рудной части шихты пусть весит 2,0 тонны, 1 куб. м известняка — 1,7 тонны. Тогда вся шихта на 1 тонну чугуна будет занимать объем:

$$\frac{0,85}{0,5} + \frac{1,6}{2,0} + \frac{0,4}{1,7} = 2,73 \text{ куб. м.}$$

На хорошо подготовленной шихте, при плавке малокремнистого мартеновского чугуна, можем принять $t = 6,5$ часов.

$$\text{Тогда } v = \frac{3200 \cdot 930 \cdot 0,85}{2,73 \cdot 6,5} = 142500 \text{ куб. м в час.}$$

$$\text{В минуту надо дутья } \frac{142500}{60} = 2375 \text{ куб. м.}$$

При этом оказывается, что воздуходувная машина производительностью, например, 1800 куб. м в час (Эргардт-Земмер) будет недостаточна, причем еще из даваемых ею 1800 куб. м известная часть (10—25%) обычно уходит через разные щели („утечка“ дутья).

Нетрудно видеть, что если у нашей печи диаметр горна будет 7,23 м и площадь $\frac{3,4}{4} \cdot 7,23^2 = 41 \text{ м}^2$, то в час на 1 м² сечения горна будет приходиться дутья:

$$\frac{142500}{41} = 3480 \text{ куб. м.}$$

Действительный объем дутья, подаваемого в печь, будет, конечно, больше, так как дутье это нагрето до высокой температуры. С другой стороны, объем его будет меньше вследствие сжатия (дутье дается в печь под давлением).

Ниже приводится формула, при помощи которой всегда можно найти действительный объем дутья при данных температурах и давлении. Тому, кто знаком с физикой, эта формула хорошо известна и понятна.

$$q = q_0 \cdot \frac{(273 + t) \cdot 760}{273 (760 + p)},$$

где q — количество воздуха по объему (в куб. м) при данных условиях;

q_0 — объем воздуха в куб. м при условии, что температура его 0° и давление — атмосферное;

t — температура дутья в градусах Цельсия;

p — давление дутья по манометру у печи в миллиметрах ртутного столба.

Поэтому, если подсчитано, что печь должна получить дутья в 1 мин. 2500 куб. м при 0° и атмосферном давлении (а все предыдущие расчеты делались именно при этих условиях) и если температура дутья $t = 700^\circ$, а давление его (манометрическое сверх атмосферного) — 720 мм ртутного столба, то действительный объем минутного количества дутья будет:

$$q = 2500 \cdot \frac{(273 + 700) \cdot 760}{273 (760 + 720)} = 4570 \text{ куб. м.}$$

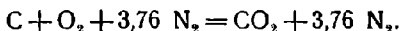
Все приведенные расчеты, как говорилось, приближенные. В каждом конкретном случае количество дутья, в конце концов, находится постепенным „нащупыванием“ и устанавливается после многократных проб и изменений. Варирование же количества дутья по ходу печи производится с учетом все тех же соображений, которые были высказаны выше и с учетом состояния на фурмах, а также составов получающихся чугуна и шлака.

В большой связи с количеством дутья находится и давление его. Чем больше количество образующихся в горне газов, чем больше диаметр горна и высота печи, чем труднее проникает столб материалов (гуще шлак, слабее кокс, мельче руда и т. д.), тем больше будет и давление газов в горне. Давление же дутья должно быть таким, чтобы, во-первых, преодолеть сопротивле-

ние печи (т. е. давление газов в горне); во-вторых, преодолеть сопротивление (трение) при течении по воздухопроводам, соплам и фурмам и, в-третьих, создать нужную скорость истечения воздуха из фурм при данном количестве и диаметре последних и при данном количестве дутья. Конечно, требуемое давление дутья еще определяется числом и характером щелей в воздухопроводящей сети: чем этих щелей, теряющих дутье, больше, тем больше должно быть давление и количество дутья, чтобы покрыть еще и потери через щели. Соответствующее давление дутья является необходимым условием возможности подачи в печь заданного доменщиком количества дутья при данном состоянии печи и шихты в ней, при данных шлаках и фурмах. Если нужное давление воздуходувными машинами не может быть обеспечено, не будет в печь подано и должное количество дутья. Нормальное питание печи воздухом нарушится и печь, при недостаточном количестве дутья, примет „кольцевой“ ход, со всеми вытекающими отсюда неприятными последствиями.

Раньше чем перейти к рассмотрению влияния нагрева дутья и типа фурм на процессы в печи, необходимо остановиться на рассмотрении так называемых „окислительных“ зон перед фурмами и на роли этих зон в доменном процессе.

Истекая из фурм, воздух, состоящий из кислорода и азота, встречает раскаленный кокс. Кислород воздуха соединяется с углеродом кокса, давая углекислый газ; азот же в данном случае, как бездеятельный в химическом отношении газ, остается при этом неизменным. Имея в виду, что в воздухе по объему 21% кислорода и 79% азота и, следовательно, на один объем кислорода приходится $\frac{79}{21} = 3,76$ объема азота, можем описанный процесс горения перед фурмами выразить таким химическим равенством:



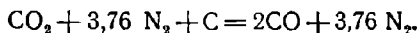
При этом выделяется очень большое количество тепла, почему температура перед фурмами всегда самая высокая в печи: 1600—1900° и выше.

Написанная реакция обычно заканчивается недалеко от устья фурмы; на расстоянии 400—800 мм от устья кислорода уже нет: на этом пути он успевает полностью израсходоваться на окисление.

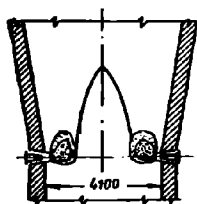
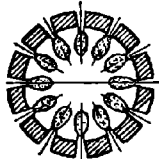
Образовавшаяся углекислота, встречающаяся с очень большим количеством имеющегося в горне кокса, начинает окислять его, отдавая один из двух атомов кислорода углероду.

Происходит, так сказать, перераспределение кислородных атомов между атомами углерода, имеющее следствием постепен-

ное исчезновение газа CO_2 с заменой каждого объема CO_2 двумя объемами CO по реакции:



Этот процесс происходит с поглощением тепла. Следовательно, температура далее 500—800 мм от фурмы начинает постепенно падать: чем ближе к центру горна, тем температура становится все ниже и ниже.



Фиг. 9. Схематическое расположение окислительных зон перед фурмами (в вертикальном и горизонтальном разрезах горна)

Изложенный выше, процесс обычно завершается на расстоянии, примерно, одного метра от фурмы. За пределами этой области уже нет не только кислорода, но и углекислоты. Далее есть только окись углерода (CO) азот (N_2) и очень небольшое количество водорода — от разложения водяного пара и из летучих веществ кокса.

Область перед каждой фурмой, в которой еще протекают названные процессы, называется „окислительной“ и распространяется перед фурмой, как мы видели, приблизительно, на один метр. Распространение ее по бокам и вверх также невелико, но все же меняется, смотря по обстоятельствам, о которых речь будет дальше. Считается, что перед каждой фурмой имеется своя окислительная область, но иногда окислительные области соседних фурм могут между собой слиться (если фурмы расставлены часто, или окислительные области очень широки), и в таких случаях получается цельное, по периферии горна, „окислительное кольцо“.

На фиг. 9 дано в вертикальном и горизонтальном разрезе представление об очертании и расположении окислительных зон для одной изученной американской печи, у которой соседние окислительные зоны не сливались между собою, как это видно из фигуры.

Особенностью каждой окислительной зоны является, прежде всего, то, что в ней имеется либо свободный кислород — O_2 (в начале области), либо CO_2 (в конце).

Оба эти газа способны энергично окислять вещества, соединяющиеся с кислородом, т. е. могущие гореть. В окислительных областях, следовательно, энергично горит углерод горючего, что вызывает здесь быстрое расходование кокса и энергичный сход шихты. Чем шире окислительная зона, тем, следовательно, по более широким сечениям печи и, значит, более равномерно будет происходить сход материалов вниз, и по более широким сечениям, а также более равномерно будет происходить подъем газов вверх. Однако, кислород и углекислота

могут окислить, кроме углерода, еще и примеси, содержащиеся в чугунах. Восстановить и перевести в чугун кремний (Si) и марганец (Mn) обычно бывает трудно, и получение кремнистых и марганцевых чугунов связано с перерасходом тепла в печи и снижением ее производительности. Окисление потом этих восстановленных примесей в горне представляет собой в значительной мере вредный процесс. Кроме них, в окислительных зонах заметно окисляется и железо. Все образовавшиеся окислы переходят в шлак и затем в горне приходится затрачивать много тепла на их повторное восстановление. При этом количество чугуна уменьшается, а его качество ухудшается.

Последняя особенность окислительной зоны — наличие в ней самых высоких температур, и чем объем зоны будет меньше, т. е. чем быстрее будут происходить все свойственные ей процессы, тем выше будет температура окислительной зоны.

Из сказанного видно, что, смотря по обстоятельствам, бывает целесообразно иметь то более широкие, то более узкие окислительные зоны: при желании иметь возможно более равномерное движение шихты и газов и при стремлении получать мало-кремнистые чугуны, требующие невысокой температуры у фурм, надо стремиться к возможно более широким окислительным зонам. При чугунах кремнистых или богатых марганцем надо ограничить объем области, где происходит окисление Si или Mn, и стремиться к возможно более высоким температурам. Для этого приходится иметь узкие окислительные зоны перед фурмами и замедленное движение шихты.

В отличие от окислительных зон все прочие области горна, — между зонами у стенок и в центральной части горна, — отличаются наличием восстановительных газов (CO , H_2) и довольно низкой температурой. Здесь газы не могут сжигать кокса, и последний расходуется весьма вяло, — лишь в некоторых количествах, идущих на повторное восстановление Si, Mn и Fe, окислившись на фурмах. При этом чем ограниченнее объем окислительных зон, тем больше объем этих малоподвижных масс; чем меньше будет происходить окисление железа и примесей чугуна на фурмах, тем более медленнее будет происходить расходование кокса и в центральной части горна. Поэтому часто, — именно в интересах достижения относительно быстрого схода материалов по оси печи, — желательно стремиться к увеличению окислительных зон и мнимо „вредному“ окислению элементов в них.

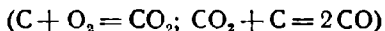
Надо еще особо отметить температурные особенности центральной части горна. Все реакции повторного восстановления Si, Mn и Fe за счет углерода кокса здесь происходят с поглощением больших количеств тепла. Здесь нет химических реакций, которые это тепло в должном количестве давали бы. Мы выше как раз отметили, что именно здесь, — в противоположность окислительным зонам, — имеют место сравнительно невысокие температуры. Единственный путь поддержания минимально допустимых здесь температур (чтобы, по крайней мере, не застывали жидкие

чугун и шлак) — доставить сюда достаточно горячие газы из окислительных зон. Это будет в том случае, если газов будет достаточно по объему, чтобы они устремлялись, — при должном давлении, — не только вверх, в заплечики, но и впереди фурмы — к центру горна. Об этом уже говорилось выше и упоминалось, что недостаточное количество газов (что имеет место при недостаточном количестве дутья и его давлении) приводит к похолоданию горна.

Влияние нагрева дутья на работу доменной печи сказывается в самых разнообразных направлениях. Нагрев дутья, прежде всего, снижает расход кокса, но неодинаково при разных степенях самого нагрева. Здесь следует вспомнить все то, что говорилось на эту тему выше в связи с рассмотрением вопроса о снижении расхода кокса при нагреве дутья.

Общеизвестно, что нагрев дутья несколько замедляет ход печи, а понижение температуры вызывает, наоборот, ускорение схода „колош“. Объяснение этого явления следует искать во влиянии нагрева дутья на объем окислительных зон у фурм.

Всякий предварительный нагрев веществ, участвующих в химических реакциях, вызывает ускорение этих реакций. Нагрев дутья не является в данном случае исключением и ведет к ускорению процессов, происходящих перед фурмами. Конечно, в условиях домны нагревом дутья буквально ускорить горение кокса, т. е. увеличить количество сгорающего в единицу времени углерода, нельзя. Количество сгоревшего углерода определяется количеством подаваемого в единицу времени в печь дутья. Однако, нагревом дутья можно добиться того, чтобы все процессы, выраженные нами выше в виде химических равенств



и связанные с энергичным расходом углерода у фурм, проходили в возможно меньшем по объему пространстве.

Следовательно, нагрев дутья сокращает объем пространства с протекающими окислительными реакциями и значит, наоборот, понижение температуры дутья увеличивает объем этой области.

Отсюда следует, что тогда, когда надо стремиться к ограниченной по объему окислительной области, следует поднимать нагрев и опускать температуру дутья тогда, когда по условиям технологического процесса окислительная область должна быть широкая. В последнем случае, несмотря на то, что понижение температуры дутья с точки зрения экономии тепла, как будто невыгодно, оно может оказаться весьма эффективным: достигаемое при этом лучшее распределение газов в шихте, более равномерное омывание ими встречающихся кусков кокса, руды и известняка, могут дать гораздо большую экономию тепла, чем один только нагрев дутья, связанный всегда с ограничением объема активных окислительных зон и, следовательно, с некоторой неравномерностью спуска шихты и подъема газов по сечениям печи.

При чрезмерном нагреве дутья увеличиваются, по горизонтальному сечению горна, области малоактивные, со слабым движением кокса. Равным образом, ограничивается не только вширь, но и ввысь область максимально высоких температур. В заплечиках, следовательно, температура становится несколько ниже, чем была раньше, и прежде жидкие здесь массы шлака, загущаются. Все это тормозит движение шихты вниз, задерживает ход печи, вызывает иногда зависание. Наоборот, понижение температуры дутья увеличивает объем окислительной области и области высоких температур: массы кокса в горне становятся подвижнее, а застывшие в заплечиках массы несколько расплавляются и сползают в горн.

После более или менее длительной остановки печи, когда шихта, вследствие отсутствия дутья, успевает под действием веса вышележащих слоев несколько уплотниться, есть основание ожидать зависания. Поэтому рекомендуется первое время после остановки печи давать дутью несколько пониженную температуру. Этим достигается „оживление“, разрыхление уплотнившихся масс и избегается зависание печи.

Нагрев дутья, сужая окислительные области, кроме того, еще „концентрирует“ тепло в более ограниченных областях горна, резко поднимая здесь температуру. Это значит, что, чем выше нагрев дутья, тем выше и максимальная температура у фурм, но область распространения этой максимальной температуры весьма ограничена (уже, чем при более низких температурах дутья), и очень недалеко от области высоких температур находятся области с гораздо более низкими температурами. При умеренном или низком нагреве дутья, максимальные температуры ниже, но области распространения этих температур широки, и падение температуры по сечению горна (например, от периферии к центру) более умеренное, постепенное.

Таким образом, и нагревом дутья можно пользоваться не только для сокращения расхода кокса, но и для регулирования хода печи. Для быстрого согревания горна (особенно похолодевшей его периферийной части, вследствие, например, прихода сюда неподготовленных масс, или вследствие слишком большого количества дутья) весьма полезным средством является нагрев дутья. Он полезен также при стремлении получить „горячие“ кремнистые чугуны, так как не только концентрирует тепло в определенных областях и при определенных температурах, но и, ограничивая объемы окислительных зон, ограничивает повторное окисление Si на фурмах, столь вредное (как говорилось) при производстве „горячих“ чугунов. Наоборот, при зависаниях в заплечиках, или при получении малокремнистых чугунов на кислых шлаках — весьма полезен невысокий нагрев дутья, дающий при широкой окислительной зоне спуск шихты широкой толщей. Усиленное окисление элементов на фурмах при этом не опасно, так как достаточно большое количество дутья и газов при этом обеспечит проникновение горячих газов и в центр печи и

в междуфурменные пространства, где окисленные до того на фурмах элементы должны повторно восстановиться. Газы принесут сюда тепло, нужное для этих реакций повторного восстановления.

Конструкция и количество фурм также влияют на объем, форму и на расположение окислительных зон.

Представим себе, что две печи с одинаковыми диаметрами горнов получают одинаковое же количество дутья (в единицу времени), нагретого до одной и той же температуры, но одна печь имеет 8 фурм диаметром 125 мм, а другая—12 фурм диаметром 160 мм. Так как сумма сечений фурм в первом случае меньше, то скорость истечения дутья в горн у первой печи будет значительно больше, чем во второй. Давление дутья в кольцевой трубе и на воздуходувных машинах в первом случае будет больше, чем во втором: узкие фурмы в малом количестве составят большее сопротивление, чем широкие 12 фурм; в первом случае на создание больших скоростей дутья необходимо наличие большего запаса напора.

Истечение дутья в печь в обоих случаях будет существенно различное. Как уже отмечалось выше, вялое истечение дутья с малой скоростью и под небольшим давлением во втором случае вызовет поднятие газов преимущественно вдоль стенок: печь примет „кольцевой“ ход. Если дутье будет истекать со слишком большой скоростью, окислительная зона несколько вытянется вглубь горна, но при малом числе фурм расстояние между соседними зонами будет настолько велико, что между ними будут большие „мертвые“ пространства со слабо развитым расходом углерода; над этими пространствами спуск шихты будет слабый, медленный.

Эти два крайние случая говорят о вредности как большого количества фурм, большого диаметра, так и малого их количества при малом диаметре. В первом случае имеем явно кольцевой ход газов при весьма вытянутой, видимо, вдоль окружности горна окислительной зоне, при малоподвижном центральном столбе довольно большого сечения; во втором—столб этот пронизывается узкими окислительными зонами (между которыми остаются достаточно большого сечения „мертвые“ столбы).

В каждом конкретном случае приходится определять „оптимум“ сечения фурм, при заданном, конечно, их количестве. Количество фурм определяется при проектировании, исходя из практических данных (например, 10—12 фурм при диаметре горна 5—7 метров и, соответственно, больше или меньше фурм при диаметрах горна ниже или выше названных пределов), диаметр же фурм ощупью находится в первые месяцы работы печи.

Для самого приближенного ориентировочного подсчета целесообразного диаметра фурм может служить следующее примерное правило:

На 1000 куб. м дутья в минуту (при 0° и атмосферном давлении) требуется около 1500 см² сечения всех фурм.

Следовательно, если печь потребляет в минуту 1400 куб. м воздуха, то общее сечение всех фурм должно быть:

$$1500 \cdot \frac{1400}{1000} = 2100 \text{ см}^2.$$

Если количество фурм 12, то сечение каждой из них:

$$\frac{2100}{12} = 175 \text{ см}^2.$$

Если диаметр фурмы d см, то ее площадь $\frac{3,14}{4} \cdot d^2 = 175 \text{ см}^2$.

Отсюда
$$d = \sqrt{\frac{175 \cdot 4}{3,14}} = 15 \text{ см} = 150 \text{ мм}^1.$$

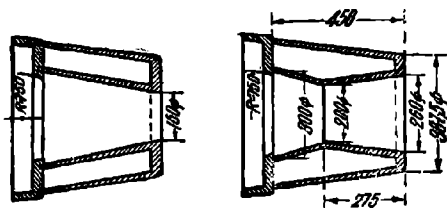
Однако, такие расчеты очень ориентировочны, основаны лишь на обобщении большого числа заводских данных или на некоторых произвольных допущениях, и поэтому могут быть применены лишь для весьма приблизительных определений. Практическое наблюдение за работой в каждом конкретном случае укажет, какой диаметр фурмы явится подходящим. Есть ряд обстоятельств, которые никакими правилами и формулами не могут быть учтены, но будут сильно влиять на работу печи и повлияют на величину рационального для данной печи диаметра фурм. К этим обстоятельствам относятся: распределение материалов на колошнике и в печи; температура и давление дутья; физические и химические свойства руды и кокса; процессы и температура в горне в данный момент, марка выплавляемого чугуна; профиль печи и проч. Поэтому то ориентировочные подсчеты диаметром фурм потом будут корректироваться самой работой печи.

До последнего времени выбору диаметра фурм уделялось мало внимания, и никто из доменщиков о подборе оптимального диаметра не думал. Между тем, диаметром фурмы, также как и температурой дутья и его количеством, можно регулировать объем и форму окислительной зоны, с нею — спуск шихты и поток газов, а с ними и механизм всего процесса в печи. Это средство регулирования находится в руках ведущего печь, им можно широко пользоваться, усвоив его влияние на ход и применяя его правильно в каждом случае.

Одним из примеров недавно практиковавшегося (а теперь в большинстве оставленного) регулирования хода печи путем изменения диаметра фурм, может служить поставка „колец“ в фурмы. Ставя „кольца“, мы сужаем диаметр фурмы, увеличиваем скорость истечения дутья в горн и сужаем окислительную

¹ Некоторые доменщики Германии применяют фурмы гораздо большего диаметра: 250—280 мм. Сторонники подобных размеров есть и у нас. Однако, практически весьма редко в СССР можно встретить на доменных печах фурмы диаметром более 200 мм.

зону, удлиняя ее в направлении к центру горна. Это дает лучший прогрев центра горна (что весьма ценно, если до того центр был холоден) и некоторое повышение температуры у фурм, вследствие сужения окислительных зон здесь. Поэтому иногда применение „колец“ на фурмах может дать временное кажущееся согревание горна. Фактически же „кольца“ согревания горна не дают, а только несколько перераспределяют тепло в нем, согревая одни части и еще более охлаждая другие (области между окислительными зонами). По этой причине, а также и потому, что применение „колец“ есть одно из проявлений „дерганья“ печей и нарушения ровного их хода, многие избегают пользования ими и вовсе изгоняют их из практики.



Фиг. 10. Фурма Вентури (справа) в сравнении с обыкновенной (слева)

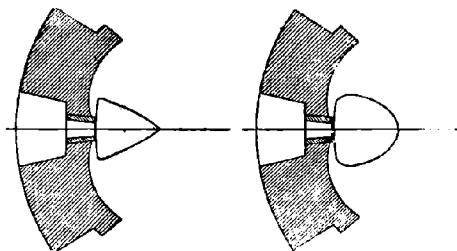
перед фурмами, подтвердили сказанное: при фурме малого диаметра углекислота (CO_2) исчезла гораздо раньше (т. е. ближе к фурме), чем при фурмах большого диаметра. Исследования, проведенные Центральным (Ленинградским) институтом металлов, показали даже что с уменьшением диаметра фурмы окислительная зона сокращается не только вширь, но и в длину, в направлении оси фурмы, а при увеличении диаметра резко удлиняется, достигая 1,5 метра в длину. (Это, повидимому, надо связать с тем, что при увеличенном диаметре фурмы в печь поступило гораздо больше дутья, о чем см. ниже).

Сходное влияние на окислительную зону оказывают и фурмы Вентури (см. фиг. 10), где дана фурма Вентури в сравнении с обыкновенной конической), имеющие сужение внутри: применение их способствует расширению окислительной зоны и, значит, целесообразно при производстве негорячих мелокремнистых чугунов. Фурмы Вентури, кроме того, весьма облегчают истечение дутья в горн, почему требуют меньшего давления дутья в кольцевой трубе. Поэтому, при ограниченной мощности воздуходушных машин, фурмы Вентури могут способствовать и некоторому повышению производительности доменной печи: увеличится количество поступающего в горн дутья, что будет следствием уменьшения его давления, а воздуходушные машины, как известно, всегда при уменьшении давления подают большее количество дутья — при той же затрате мощности. Все-таки, при близко расположенных фурмах или при производстве „горячих“ чугунов, применение фурм Вентури может оказаться нежелательным, так

как в указанных случаях вовсе не следует стремиться к увеличению окислительной зоны.

На объем окислительной зоны заметно влияет и количество дутья. Как показали исследования, чем больше количество дутья в единицу времени, тем шире окислительная зона. Поэтому увеличенное количество дутья оказывает то же действие, что и увеличенный диаметр фурм или пониженная температура дутья. (На фиг. 11 даны, по недавним немецким исследованиям, очертания окислительной зоны при малом и при большом количестве дутья).

Следовательно, чем больше диаметр фурм и чем больше количество дутья в единицу времени, тем выше надо держать нагрев дутья. Тогда чрезмерное расширение окислительной зоны, создаваемое широкими фурмами или увеличенным количеством дутья, будет в заметной мере уменьшено сужением зоны, вызываемым достаточно высоко нагретым дутьем. Увеличение объема зо-



Фиг. 11. Характер окислительной зоны при малом и большом количестве дутья. Слева дано сечение зоны в плоскости фурмы при 40 оборотах в минуту воздушной машины; справа—при 70 оборотах в минуту. Ясно видно, что с увеличением количества дутья окислительная зона растет в ширину

ны горения с увеличением количества дутья исследовалось и за границей, и у нас в СССР. За границей установили только расширение зоны в бока с увеличением дутья (см. фиг. 11). У нас же упомянутые работы Центрального (Ленинградского) института металлов (доменная печь № 1 Магнитогорского завода) показали, что с увеличением количества дутья окислительная зона может заметно расти и вглубь горна, достигая глубины несколько более 1,5 метра (чего не получали иностранные исследователи, всегда обнаруживая на расстоянии одного метра или немногим более от фурм уже полное исчезновение углекислоты).

Интерес представляет и вопрос о высове фурм в горн. Фурма короткая вызывает приближение окислительной зоны к станкам горна и заплечиков. При этом будет иметь место ход газов близко к стенкам, и при очень коротких фурмах возможен быстрый износ кладки. Поэтому редко делают высов фурм меньше 200—250 мм. Но если и при этих фурмах печь обнаружит „кольцевой“ ход, окислительные зоны могут быть с успехом отодвинуты вглубь горна, ближе к оси, заменой фурм на более длинные, например, высовом в горн 30—400 мм. При „кольцевом“ ходе печи или образовании, например, малоподвижного столба холодных масс в центральной части горна, такое удлинение фурм может (также, как, например, и уменьшение веса

коксовой колоши) выправить ход печи, направив часть газов ближе к оси печи и выравнив, таким образом, ее работу по сечению. Это может вызвать лучшее общее использование газов в печи, повышение содержания CO_2 в колошниковом газе, понижение его температуры, снижение расхода кокса и повышение выплавки чугуна. Специальные опыты в Германии подтвердили это положение.

Рассмотрение ряда „дутьевых“ факторов в работе доменной печи показывает, что ими, этими факторами, можно в широкой мере регулировать не только распределение тепла в печи и скорость схода шихты (что давно известно, делалось и делается всегда практиками), но и распределение газового потока по сечению печи и распределение скорости схода шихты в разных местах каждого горизонтального сечения шихты.

Мы видели ранее (раздел „Засыпка материалов в доменную печь“) что эти моменты можно еще регулировать и загрузкой шихты.

Умело пользуясь всеми средствами направления потоков материалов и газов, проходящих через печь, доменщик может рационализировать дело ведения печей. К сожалению, до сих пор эти возможности используются еще мало или вслепую, — без учета их влияния.

Сообщенные сведения дают ключ к использованию неучитываемых пока резервов регулирования хода домы и, значит, резервов увеличения ее производительности и снижения расхода горючего.

Однако, в ряде случаев отмеченные влияния изучены еще мало, почему имеющиеся зависимости могут быть использованы на производстве лишь с большой осторожностью.

Задача наших научных учреждений — глубже изучить значение и влияние каждого фактора, найдя количественное его влияние на ход печи, чтобы в каждом конкретном случае суметь рассчитать механизм движения шихты и газов так же, как доменщик, уже давно изучив химизм доменного процесса, теперь умеет рассчитать доменную шихту или материальный баланс плавки.

Это — задача ближайших научных работ над доменными печами. Но это же и очередная задача производственников в их работе по овладению передовыми коэффициентами второй пятилетки.

РАЗМЕРЫ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ И ВЛИЯНИЕ ИХ НА ПРОЦЕСС

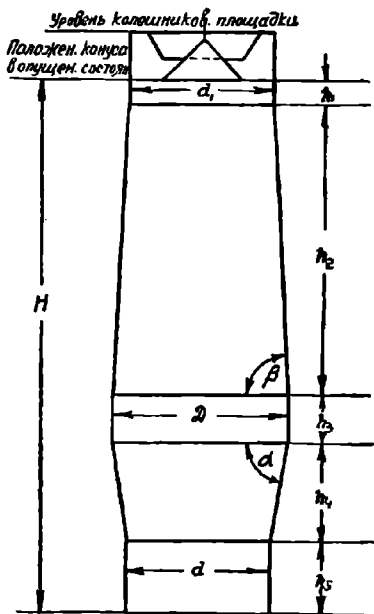
Технический персонал, мастера и рабочие, занятые непосредственно у домен, меньше всего интересуются размерами печей, полагая, что это — дело проектировщиков и строителей, а не производственников. Считая, что шихта, ее расчет, состав, подготовка и загрузка, дутье, его количество, температура и да-

вление есть основные элементы ведения печей, они забывают что не меньшую роль в ходе домны и в результатах ее работы играют главнейшие размеры ее рабочего пространства — „профиль“.

Родоначальником доменной печи являлся горн, в котором в древние времена из смеси руды и древесного угля получали железо. Старинные домны имели высоту 10—15 метров, в поперечнике 2—4 метра и давали ничтожные количества чугуна.

Современная доменная печь, дающая свыше 1000 тонн чугуна в сутки, весьма мало походит на свою прародительницу.

На фиг. 12 высоты всех частей и диаметры цилиндрических частей обозначены соответствующими буквами. Кроме того, обозначены угол наклона шахты к горизонту (β) и угол наклона заплечиков (α). Полезной высотой печи (H полезная) считается расстояние от конуса в опущенном состоянии до оси чугунной летки¹, а объем, соответствующий этой высоте, называется полезным объемом печи (V полезная). В приводимой ниже таблице собраны все важнейшие размеры наиболее интересных для нас доменных печей.



Фиг. 12. Профиль доменной печи

В таблице даны две большие современные печи Германии, причем можно заметить, что они не так уж велики по сравнению с большими печами США и СССР. По США приведены наиболее интересные современные большие домны. По Союзу также указаны современные самые большие печи, примерная печь средней производительности (№ 3 завода им. Дзержинского) и проектирующаяся новая типовая печь — самая большая в мире.

Важнейшие размеры каждой печи — полезный объем, полезная высота, диаметр горна и диаметр колошника.

¹ Среди металлургов прочно установилось несколько иное определение полезной высоты доменной печи (H полезная). Полезной высотой печи называется „расстояние между горизонтами засыпи у колошника и выпускного для чугуна отверстия“, т. е. расстояние от оси чугунной летки до уровня засыпи материалов.

№ № п/п		Печи	V_3 м	H м	h_1 м	h_2 м	h_3 м	h_4 м	h_5 м	D м	d м	d_1 м	α°	β°	
1	Германия	З-д Borbeck	676	27,0	—	19,2**	1,1	4,5	2,2	6,8	4,5	4,79	75°40'	86°40'	
2		З-д не назван	822	24,36	—	16,86**	1,0	4,0	2,5	7,4	5,5	6,0	83°30'	87°20'	
3		Alqirra № 3	1125	22,50	1,41	13,10	0,91	3,85	3,22	9,14	8,69	5,79	86°40'	81°30'	
4	США	Средний профиль 1000 т. печей	1025	25,10	2,15	14,0	2,4	3,75	2,8	8,4	7,45	5,45	82°45'	84°	
5		1000 т печь, рекомендо- ванная конференцией доменщиков в Чикаго .	1130	25,91	1,22	17,26	1,83	2,65	2,95	8,61	7,72	5,8	80°30'	85°15'	
6	СССР	З-д им. Дзержинского № 3	585	25,15	—	15,60**	2,60	3,60	3,35	6,25	5,00	4,60	80°10'	86°20'	
7		З-д им. Кирова № 4, 5, 6.	812	26,93	2,77	15,56	2,50	3,10	3,00	7,10	6,20	5,40	81°45'	86°50'	
8		„ № 7	1163	26,21	2,64	15,57	2,50	3,10	2,80	8,50	7,70	5,86	82°30'	85°10'	
9		„ Сталина (Кузнецк)													
10		№№ 1, 2	828	25,25	1,95	14,70	2,30	3,20	3,10	7,20	6,20	5,50	81°10'	85°40'	
11		Магнитогорский з д № 2.	1180	26,95	2,05	14,82	3,84	3,06	3,18	8,38	7,62	6,10	82°50'	85°40'	
12	Современная типовая .	930	25,80	2,92	14,72	1,86	3,24	3,06	7,85	7,00	5,41	82°30'	85°15'		
		Проектируемая новая типовая	1300	27,20	3,00	16,00	2,00	3,20	3,20	9,00	8,00	6,30	81°10'	85°10'	

* Шахта из двух конических частей с разным наклоном образующих (верхняя часть более круто, нижняя — более полого).

** Для печей №№ 1, 2 и 6 не даны высоты h_1 и высота цилиндрического колошника входит в высоту шахты (h_2).

УДК 621.772.001.01
(ИПБТ)

Как можно видеть из таблицы, печи объемом больше 1300 куб. м пока еще не строились. Увеличение размеров печей идет постепенно, ощупью. Оно лимитируется невозможностью превзойти определенные границы высоты и поперечных размеров. Границы эти определяются, во-первых, механическими свойствами горючего, во-вторых, мощностью воздуходушных машин, в-третьих, характером процессов, происходящих в горне, в-четвертых, условиями распределения материалов на колоснике.

Разберем все эти условия по порядку:

1. Механические свойства горючего определяют высоту доменных печей. Чем прочнее горючее, тем более высокую печь можно строить. Чем горючее слабее, тем больше угроза его сильного истирания во время прохождения через печь при действии на него столба вышележащей шихты. Поэтому, например, древесноугольные доменные печи не превышают в высоту 18 метров. Кокс значительно прочнее древесного угля и поэтому коксовые домны гораздо выше древесноугольных. Однако, даже самые высокие из них не превышают 30—31,4 метра, большинство же высоких печей имеют полную высоту 28—30 метров (полная высота на 3-4 метра больше полезной, приведенной в таблице). Указанные размеры приемлемы для печей, работающих на весьма прочном коксе. Сравнительно слабый кокс заставляет строить печи полной высоты 23--27 метров, при полезной высоте 20—25 метров (таково большинство печей юга СССР, построенных до войны и работавших на сравнительно слабом коксе).

2. Воздуходувные средства всегда определяли возможность роста производительности и поперечных размеров печей. Производительность печи определяется, прежде всего, размером ее горна. Согласно точки зрения одних металлургов, количество сжигаемого пещью в сутки кокса (а значит, и количество выплавляемого чугуна) пропорционально площади сечения горна (или, следовательно, к в а д р а т у диаметра горна); согласно мнению других металлургов, указанная зависимость справедлива лишь для небольших печей, диаметром горна до 4-5 м; для больших же—производительность пропорциональна д и а м е т р у горна (взятому в первой степени, а не в квадрате). Однако, и та и другая точки зрения утверждают, что с увеличением диаметра горна происходит увеличение как количества сжигаемого в горне в сутки кокса, так и количества выплавляемого чугуна. Следовательно, с увеличением диаметра горна надо увеличивать количество подаваемого в горн дутья. Далее (как это известно из предыдущего) газы, образовавшиеся на фурмах, должны в достаточно большом количестве быть доставлены к центру горна, а для этого они должны обладать соответствующим напором (давлением). Доставляемое через фурмы в горн с газами дутье должно, следовательно, иметь давление еще большее, чем давление газов в горне (для того, чтобы уравновесить это давление газов, и иметь еще добавочный напор для обеспечения нужной

скорости истечения и для преодоления сопротивления при течи-нии). Чем больше диаметр горна, тем больше должно быть да-вление газов в горне, а следовательно, и давление дутья на воз-духодувных машинах. Значит, с увеличением горна нагрузка воздуходувок резко возрастает: надо дать и большее количество дутья к тому же большому давлению. Расширение горнов печей сплошь и рядом ограничивается, поэтому мощностью воздухо-дувных машин и рост печей определяется всегда состоянием машиностроительной техники.

Однако, увеличение диаметров горна определяется не только воздуходувными средствами. Выбирая диаметр горна, приходится еще иметь в виду, что горн (нижняя его часть, называемая металлоприемником) является местом накопления жидкого ме-талла. Чем количество этого металла больше, тем энергичнее он распирает стенки горна. Уже при диаметре горна 6—8 м приходится применять исключительные меры к укреплению, охлаждению и вообще сохранению горна. Дальнейшее увеличе-ние горна создает новые конструктивные осложнения и требует большого внимания.

3. Сам характер процессов в горне говорит о том, что чрез-мерно большой его диаметр может не дать улучшения работы. Мы видели, что наиболее активные процессы протекают в гор-не в периферийной его части, центральная же часть горна обычно менее активна — тепло в нее доставляется газами, при-текающими из периферии; кокс в ней уже горит не за счет кисло-рода дутья, а только за счет кислорода, отнимаемого от восста-навливаемых здесь железа, кремния и марганца. Поэтому опу-скание шихты в центральной части печи происходит медленнее, чем на периферии. Пока соотношение между активными процес-сами на периферии и пассивными в центре не выходит еще из некоторых практически допустимых пределов, печь идет хорошо. Но чрезмерное увеличение горна может создать уже такой ши-рокий пассивный столб в центре, что нормальная работа печи может оказаться нарушенной.

Доменная практика поэтому ошупью идет на увеличение горна. Сообразуясь с воздуходувными средствами, тщательно усиливая конструкцию горна, доменная техника пока еще печей диаметром горна больше 8—8,7 метра не строила. У нас в Союзе пока хорошо себя показала печь с диаметром горна 7,62 метра (Маг-нитогорск), а теперь мы будем пробовать печь с диаметром 8 метров. Если и здесь опасный предел не будет достигнут, можно будет думать о дальнейшем увеличении горна, пределов которому, конечно, указать нельзя.

4. Увеличение поперечных размеров доменных печей опре-деляется еще и диаметром колошника. Мы видели в предыду-щем, что правильное распределение материалов на колошнике обеспечивается правильным выбором зазора между конусом и стенкой печи: чрезмерно большой зазор (больше 600—850 мм) уже ведет к периферийному ходу печи, а это сильно сокращает

ее кампанию, вследствие раннего износа кладки, увеличивает расход кокса, руды и известняка, увеличивает вынос колошниковой пыли и, вообще, ухудшает все показатели печи как количественные, так и качественные. Можно было бы, увеличив диаметр колошника, увеличить и диаметр конуса, оставив величину зазора в допустимых пределах. Однако, это упирается в другие препятствия. Не говоря уже о трудности изготовления и, особенно транспортировки такого большого конуса по железнодорожным путям, приходится особо считаться с тем, что при таких размерах и конструкции колошниковоу устройства руда будет сосредотачиваться преимущественно у стенок, а значительная часть сечения печи в центре окажется незасыпанной рудой: здесь газ будет двигаться, не встречая на своем пути руды и уходя неиспользованным. Чтобы это явление не получило чрезмерного развития, придется при большом диаметре колошника увеличивать размер колоши, а это создаст такую толщу руды на периферии, что распределение газов в ней неминуемо станет весьма неравномерным: печь неизбежно пойдет очень плохо. Исходя из этих соображений, заграничей еще не строили печей с диаметром колошника более 5,8—6,4 м. У нас же на Магнитогорском заводе испытали 6,1 м и будут на второй типовой печи пробовать 6,3 м. Итти выше этого предела при загрузке прибором Парри пока не решаются, но изобретательская и конструкторская мысль упорно бьется над нахождением такого засыпного аппарата, который давал бы рациональное распределение материалов и хорошую их обработку газами по всему сечению и при диаметре колошника выше максимально достигнутых уже размеров.

Диаметр распара важен и влияет на работу печи, но его размер определяется остальными поперечными размерами, углами наклона шахты и заплечиков, а также высотами шахты, заплечиков и горна.

Очень важную роль играет высота шахты и, особенно, угол ее наклона. Если угол этот выбрать слишком малым, есть опасность быстрого износа кладки шахты. Пылеватая руда засыпается распределительным аппаратом на периферии, но затем, просыпаясь, как самая мелкая и самая тяжелая часть шихты, между кусками кокса и других материалов, в общем движется от места загрузки вертикально; стенки же шахты отходят от руды и отходят тем более, чем меньше угол наклона шахты к горизонту, т. е. чем положе шахта.

Место между стенкой шахты и пылеватой рудой заполняется при этом кусковым материалом — преимущественно коксом, отесняемым к стенкам. При этом газы будут охотно устремляться сюда, так как здесь собираются наиболее крупные куски. Следовательно, чем меньше угол наклона шахты, тем больше газа будет здесь двигаться. Газовый поток со взвешенными в нем пылинками будет при этом с большею силою ударять в стенки шахты, разрушая ее кладку. Печь будет иметь периферийный ход.

Наоборот, если угол наклона шахты сделать весьма большим, периферийного хода печи не будет, но шихта может зависнуть в шахте, испытывая сопротивление стенок и сама расширяясь от нагрева при опускании.

Обычно пределы углов наклона шахты к горизонту—85—87°, но даже и в этих небольших пределах изменение угла может весьма резко отразиться на работе печи, почему академик М. А. Павлов и рекомендует при работе на пылеватых рудах, чтобы избежать зависания, держаться ближе к 85°, а при плотной, кусковой руде, избегая периферийного хода, делать наклон около 87°. В большинстве же случаев углы бывают от 85,5° до 86,5°.

Высота шахты определяется в значительной мере уже общей полезной высотой печи, но здесь уместно привести еще и некоторые дополнительные соображения (кроме тех, которые выше были приведены при рассмотрении вопроса о высоте печи вообще).

Чем выше шахта, тем длиннее путь движения газа и лучше использование его теплосодержания и восстановительной способности (при высокой шахте температура колошникового газа ниже, содержание CO_2 в газе выше). Но, с другой стороны, при высокой шахте нижележащие слои материалов будут сильно спрессованы высоким столбом шихты, сумма зазоров, свободных для прохода газов, будет меньше, давление дутья больше, скорость газов в шихте больше, в результате чего температура газов может и подняться. Поэтому иногда слишком высокие печи работают хуже, чем более низкие. Значит приходится считаться не только с механическими свойствами (прочность кокса, о чем говорилось выше), но и с физическими свойствами (пылеватость) руды, а также и с тем, каково количественное соотношение в шихте кусков и пыли: чем меньше кусков, тем хуже разрыхлена шихта и менее проникаема она для газов, тем больше давление дутья и тяжелее работа воздуходувок; следовательно, при малой кусковатости шихты (и при работе, например, с относительно низким расходом кокса) лучше работать со сравнительно более низкой шахтой. При обратных условиях может более выгодной оказаться работа с высокой шахтой.

Учитывая все приведенные соображения, практикой установлено, что диаметр колошника должен составлять, приблизительно, от $\frac{2}{3}$ до $\frac{3}{4}$ диаметра распара. Минимальное значение из двух последних берут при работе на богатых и порошковатых рудах, максимальное — при бедных и кусковых (соответственно сказанному выше об углах наклона шахты).

Угол заплечиков, т. е. степень наклона образующей конуса заплечиков к горизонту, определяется рядом условий. Прежде всего; на выбор этого угла влияют физико-механические и физико-химические свойства материалов и состав выплавляемого чугуна. Если руда пылеватая, а кокс слабый и мусорный, надо, чтобы избежать зависаний шихты в заплечиках, делать угол их покруче, обеспечивая ровный сход шихты. Далее, если руда лег-

ковосстановима, можно допустить более быстрый ее сход и можно делать заплечики круче, а угол их больше; то же возможно при производстве малокремнистых, негорячих чугунов (например, мартеновских, томасовских), допускающих быстрый сход подач.

Другое условие, определяющее угол наклона заплечиков,—относительное количество горючего, руд и флюса в шихте. В распаре начинается расплавление всех составляющих руды и флюса, переход этих составляющих в чугун и шлак, так что в горн, на уровень фурм, доходит в твердом состоянии только значительная часть кокса (80—85% его); расплавившиеся же чугун и шлак протекают между кусками кокса в нижнюю часть горна. Смотря по относительному количеству горючего, руды и флюса, в заплечиках, следовательно, происходит, в большей или меньшей мере, некоторое сжатие объема шихты, почему и угол заплечиков должен быть тем меньше (т. е. заплечики тем положе), чем больше происходит это уменьшение общего объема подачи на пути от распара к горну: например, при бедной шихте, угол придется делать меньше, при богатой — больше.

В последнее время считается целесообразным делать общую высоту заплечиков и распара небольшой. Часто, по тем или иным причинам, начало указанного уменьшения объема, т. е. начало шлакообразования, несколько запаздывает. Если заплечики и распар будут высоки, т. е. слишком рано начнется сужение профиля, может оказаться, что начало плавления перенесется из распара глубже — в заплечики. Тогда в сужающейся части печи, на пути от распара до места начала шлакообразования, шихта будет спускаться в крайне неблагоприятных условиях: материалы, не изменив своего объема, должны будут пройти в сужающееся сечение печи. Здесь начнется прессование шихты, задержка ее схода и затор встречному потоку газов.

Чтобы избежать этого, рекомендуется, выбрав подходящий угол наклона заплечиков, остановиться на возможно более низкой высоте их (и распара).

Практически встречающиеся углы наклона заплечиков бывают 76—83°, чаще 78—82°, причем тот или иной угол выбирается, учитывая изложенные выше соображения. Высоту распара и заплечиков рекомендуется иметь не более 4,5—5 м и только для больших печей приходится мириться с тем, что этот размер доходит до 6 м.

О соотношении диаметра распара и диаметра горна, зависящего от выбранных высот и угла наклона заплечиков, можно сказать, что, вообще, в связи со стремлением в последние годы увеличивать диаметры горна старых печей (с увеличением угла наклона заплечиков, при том же распаре) и с тенденцией (характерной для США и перешедшей к нам) строить печи с большими диаметрами горна и возможно более крутыми заплечиками, отмечается тенденция приближения диаметра распара к диаметру горна, так что отношение первого ко второму у современных

печей становится все меньше и меньше: если у старых печей эта величина $\left(\frac{D}{d}\right)$ составляла 1,25—1,50, то у современных новых она уже колеблется в пределах 1,05—1,15. Есть даже сторонники полного отказа от конических заплечиков, т. е. постройки печей с цилиндрической нижней половиной — от распара до лещади. Это будет соответствовать случаю, когда диаметр распара равен диаметру горна $\left(\frac{D}{d} = 1\right)$.

Остановимся еще на сравнении между собой диаметров горна и колошника. Опыт говорит о том, что слишком большая между ними разница недопустима, так как соответствует малому углу наклона шахты и периферийному движению газов. В приведенной печи Alquirra № 3 эта разница, например, очень велика и составляет $8,7 - 5,8 = 2,9$ м, что приводило к кольцевому ходу печи.

Периферийный же ход печи сказывается, прежде всего, на расходе кокса и износе кладки шахты. Рекомендуются, чтобы диаметр горна превышал диаметр колошника не более чем на 1,5—1,7 (во второй типовой печи при диаметре горна 8 м, колошник 6,3 м, что дает разницу 1,7 м; у старой типовой печи эта величина составляет $7 - 5,41 = 1,59$ м).

Рассмотрим теперь вертикальные размеры горна, т. е. его высоту, а также и вопрос о том, где следует, в зависимости от высоты и окружности горна, располагать шлаковую летку.

Американцы — сторонники невысоких горнов, и эту точку зрения они пытались провести, когда консультировали у нас проектирование типовой домны.

Соображения против высоких горнов сводятся к заботе о полной просушке глины в летке за период времени от забивки летки до следующего выпуска. Так как зона самых высоких температур в печи имеет место у фурмы, то чем ниже фурмы (т. е. ниже и весь горн, так как фурмы располагаются в самой верхней части горна), тем лучше будет проходить просушка летки. Однако, наши металлурги, возражая американским, высказались за более высокие горна, имея в виду, что при очень низких фурмах чугун и шлак на лещади будут весьма перегреты, почему будут быстро размывать лещади и летку. Американцы предлагали размер 2,55 м; принят, однако, был больший, как это видно из таблицы, приведенной выше.

Очень важно, на каком расстоянии от чугунной летки (по вертикали) располагается шлаковая летка. Чем выше шлаковая летка, тем меньше шлака будет выпускаться через нее, больше его будет оставаться в горне ниже ее, над слоем чугуна.

Так как шлак — обессериватель шихты и аккумулятор тепла, то высокорасположенная шлаковая летка обеспечивает лучшее обессеривание чугуна, более высокое его качество и вообще более ровный состав. С другой стороны, есть и возражение против высоко расположенной шлаковой летки. Дело о том, что тогда

шлаковая летка уже располагается близко от воздушных фурм, малейшее запоздание с выпуском шлака через нее угрожает подходом шлака к фурмам и заливанием их. Против этого можно возразить, однако, что угроза заливания фурм шлаком еще достаточно велика и при низком расположении шлаковой летки: в этом случае мастер, спокойно давая первый шлак, уже боится дать второй, так как скопившийся к этому времени в металлоприемнике чугуном может при выпуске шлака подойти к шлаковой фурмочке и сжечь ее. Передерживая по этим соображениям шлак в печи, мастер рискует, что шлак подойдет к фурмам и зальет их. Другое соображение против высокого расположения шлаковой фурмы — то, что при этом за чугуном идет много шлака, что затягивает выпуск.

В общем, высота шлаковой летки над чугуном колеблется в пределах от 1,3 до 1,9 м. Некоторые доменщики в последнее время стремятся к последнему из указанных пределов. Иногда делают по две шлаковые летки, располагая их под известным углом и на разных горизонтах. Например, во второй типовой доменной печи запроектированы две шлаковые летки, причем одна из них на высоте 1,4 м, а другая — 1,6 м над лотком чугуновой летки.

Относительное расположение шлаковой и чугуновой леток по окружности определяется стремлением избежать прогаров кладки. Опыт говорит, что вблизи леток и над ними, главным образом, происходят разрушения кирпича. Близкое расположение этих леток ведет к особенно интенсивным разрушениям, почему в последнее время стараются чугунную и шлаковую летки раздвинуть на возможно больший угол.

Заканчивая, укажем еще, что в последнее время начали характеризовать профиль печи отношением полезного объема печи к площади горна. По мнению наших металлургов, величина этого отношения должна быть не менее 27 - 28, а при горячем ходе или трудновосстанавливаемых рудах должна приближаться к 30. Это обусловит нормальный сход шихты и хорошую обработку ее газами, а также достаточную стойкость шахт от разрушения.

Из всего изложенного видим, что профиль, наряду с шихтой, дутьем и загрузкой, является одним из важнейших условий, определяющих работу доменной печи. Им можно также регулировать ход печи, направляя его в ту или иную сторону. Различие между этим способом управления ходом печи и прочими, названными выше, лишь в том, что изменять шихту, ее загрузку, количество дутья, его температуру и способы подачи можно весьма часто и быстро; профилем же влиять на работу печи можно только раз в несколько лет, — при ремонте печи. Но удача или неудача при выборе профиля затем сильно отражается на работе печи в течение всей кампании. Поэтому вопросам профилировки печей надо всегда уделять максимум внимания. Равным образом, и во время работы печи надо тщательно следить за влиянием размеров профиля на ход домны, чтобы

потом результаты своих наблюдений использовать при последующем ремонте, когда можно будет внести в очертания профиля те или иные изменения.

ВДУВАНИЕ ПЫЛИ В ДОМЕННЫЕ ПЕЧИ

Вопрос этот представляет большой технический и хозяйственный интерес.

При этом речь может идти о вдувании в разные горизонты печи — в горн, заплечики или шахту, — разных материалов — руды, колошниковой пыли, горючего и флюсов. Наконец могут быть и разные цели вдувания пыли: пыль можно вдувать для изменения хода печи, а можно подавать в печь пылеватый материал только с целью утилизации этого материала.

Нам надлежит рассмотреть целесообразность и возможность пылевдувания со всех точек зрения и всеми возможными путями и методами.

Самыми старыми предложениями пылевдувания, относящимися еще к 70-м годам прошлого столетия, являются предложения подачи различных материалов в горн.

Немецкий инженер Бертрам в 1927 году собрал и опубликовал материал об этих изобретениях, сопроводив его анализом целесообразности и эффективности. Автор, кроме того, и сам проводил некоторые опыты на заводе Гальбергергютте в Германии. Главнейшие выводы говорят о целесообразности и полной возможности вдувания пылеватых плавильных материалов (руды, колошниковой пыли, флюсов) в горн через фурмы. При этом отмечается, что вдувание руды и колошниковой пыли может повлиять на состав чугуна, так как восстановление железа из введенной пыли потребует тепла, и значит меньше восстановится кремния и марганца. Следовательно, можно вдувать пыль только в тех случаях, когда производятся негорячие (передельные) чугуны с низким содержанием кремния и если горн при этом чрезмерно горяч. При производстве же кремнистых или марганцевых чугунов, а также, если при производстве передельных чугунов горн не горяч, пылевдувание не представляется целесообразным. Отсюда следует, что пылевдувание в горн не может рассматриваться как систематическая мера утилизации пыли, но может, от случая к случаю, быть использовано в качестве одного из средств регулирования хода процесса. Что касается вдувания в горн пылеватых горючих материалов, то, по исследованиям того же Бертрама, это мероприятие, на первый взгляд привлекательное (так как, казалось бы, дает возможность использовать угольную и коксовую мелочь и представляет возможность быстро согреть остывший горн), оказывается целесообразным по следующей причине: горючее, сжигаемое на фурмах, обычно успевает на пути от колошника до горна нагреться, приблизительно, до 1500°, чем обеспечивается должная темпе-

ратура его сгорания в струе дутья. Подаваемое же в фурмы пылеватое горючее будет холодное, температура его сгорания будет значительно ниже, чем в первом случае, почему вдувание его не согреет, а охладит горн.

Еще задолго до Бертрама, в начале XX века, профессор Ижевский (Киев) высказывал соображения о целесообразности систематического вдувания в горн через фурмы колошниковой пыли и руды. Соображения эти вытекали из особой теории Ижевского и привели его к заключению, что пылевдувание должно проводиться систематически, причем не должно влиять на состав чугуна. Проф. Ижевскому удалось провести несколько опытов вдувания колошниковой пыли, мелкой железной руды и марганцевой руды в фурмы доменных печей Брянского (ныне им. Петровского) завода (1902 - 1903 г.). Опыты были очень немногочисленны и недлительны, да и количества вдуваемых материалов были ничтожны. Исследования были еще недостаточными для подтверждения возможности непрерывного вдувания пыли в горн (как предполагал Ижевский), но показали, что вдувание вполне осуществимо и иногда все же вызывает уменьшение содержания кремния и марганца в чугуне, иногда же может и не повлиять на состав чугуна.

На том же заводе им. Петровского в г. Днепропетровске в 1929 - 1930 годах группа инженеров под руководством проф. П. Г. Рубина проводила опыты пылевдувания в горны домны № 4. Здесь была достигнута непрерывность работы печи при вдувании, так как бачки с вдуваемой пылью, сообщенные с соплом через отверстие для „гляделки“, были воздухопроводом связаны с резервуаром компрессора, содержащим воздух, сжатый до 6 атмосфер. На ходу печи в любое время можно было давлением компрессорного дутья подать в печь насыпанный в бачок материал. Опыты проводились, главным образом, с мелкими флюсами (известняк, песок), но несколько исследований было проведено и с колошниковой пылью. И эти работы подтвердили легкость вдувания; показали простой способ вдувания без остановки печи; подтвердили возможность находить состав шлака „добавочными“ флюсами и показали, что путем вдувания колошниковой пыли или руды можно снизить содержание кремния в чугуне и утилизировать пыль. Опыты, к сожалению, были прекращены раньше времени, хотя и представляли весьма большой интерес.

Последнее сообщение по тому же вопросу находим в недавно опубликованных в Германии данных одного голландского металлургического завода. Здесь колошниковая пыль систематически вдувалась в заплечики двух доменных печей. Отверстие для вдувания было расположено на 1,1—1,6 м. выше уровня фурм. В доменную печь объемом 430 куб. м в течение года с лишним было таким образом подано около 50.000 тонн пыли, что составляет около 90% всего ее количества. Вдувание пыли не вызвало заметных изменений хода печи. Если „глаз“ пылеводя-

шего сопла к началу вдувания был вообще чист, то и в процессе подачи пыли он обыкновенно не загрязнялся. Из сказанного заключаем, что вдуваемая пыль еще до достижения горизонта фурм успеваеет подвергнуться всей обработке, необходимой для полного освоения ее составных частей металлом и шлаком. Однако, опыт длительной работы говорит, что пылевдувание таким способом не отзыватея на качестве чугуна только при соблюдении ряда условий. Например, еще первые опыты вдувания показали, что содержание серы в чугуне несколько возрастает, хотя содержание прочих примесей как будто остается неизменным. Иногда в начале вдувания на воздушных фурмах, лежащих под местом подачи пыли, появлялась легкая поволока из пыли, которая, правда, не ухудшала результатов работы, если количество пыли было умеренное. Обнаружено, что такое пылевдувание проходит для печи бесследно только в том случае, если количество пыли не превышает 10% от количества проплавляемой руды; при превышении же этого предела есть угроза похолодания горна.

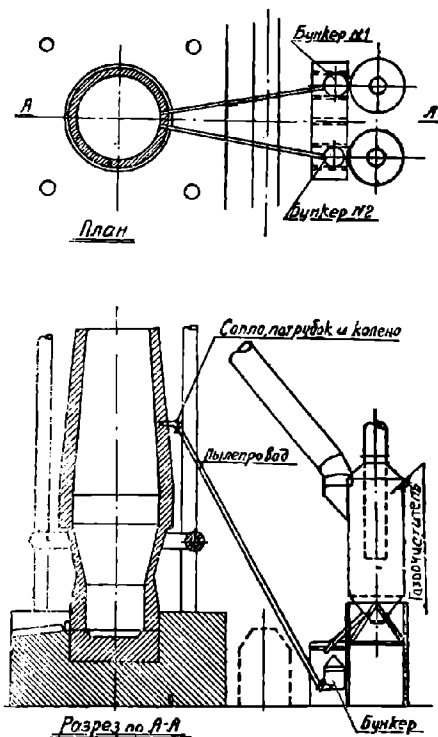
Из рассмотрения всех данных о вдувании пыли в горн и заплечики можно заключить, что эта мера легко может быть проведена в жизнь, что она может оказаться вполне эффективной в том случае, если в горне имеется избыток тепла и если получается слишком богатый кремнием или марганцом чугун. Эта мера в наших условиях не может рассматриваться как разрешающая проблему утилизации колошниковой пыли, так как количества задаваемой пыли должны быть очень умеренные и много меньше, чем нынешний наш вылет (до 30 и более процентов от переплавляемой руды), да и, кроме того, пользование этим способом пылевдувания едва ли возможно систематически. Повидимому, использование того же устройства для вдувания находу в печь „добавочных“ флюсов вполне рационально и должно применяться по мере надобности. Вообще же пылевдувание в заплечики и горн должно еще изучаться, так как исследования и опыты в этом направлении до сих пор были весьма немногочисленны.

Вдувание пыли в шахту является делом сравнительно более новым в доменной практике, чем вдувание в горн.

До 1931 г. мы об этом знали лишь по слухам, доходившим из Германии. Только в 1931 г. немецкий инженер Мильден опубликовал результаты вдувания колошниковой пыли в шахты доменных печей на ряде немецких заводов в течение четырех лет, в то же время ленинградский Гипромез получил по этому вопросу весьма обстоятельный доклад немецкого проф. Вюста.

Уже из всего сказанного ранее видно, что вдувать в шахту целесообразно только колошниковую пыль; поэтому теперь о последней только и будет идти речь. Изобретателем пылевдувания в Германии являются инж. Гескамп, впервые начавший свои опыты в 1925 году. Идея его сводится к следующему: пыль, выносимая колошниковым газом, обычно захватывается с поверх-

ности шихты или из самых верхних ее горизонтов; нет основания полагать, что пыль может выноситься из более глубоких горизонтов шахты, так как она при этом, вследствие фильтрующей роли шихтовых материалов, все равно задержится в их слое. Если, следовательно, вынесенную пыль подать в нижние (или средние) горизонты шахты, пыль повторно не должна выноситься, а должна усваиваться печью. Однако, подавать ее и в очень глубокие горизонты печи, по Гескампу, также не следует, так как здесь пыль, размягчаясь при высоких температурах, будет залеплять сопла (эти опасения Гескампа не подтвердились, как мы видели, дальнейшими опытами вдувания пыли в нижнюю часть заплечиков в Голландии). Пыль должна вводиться в шахту на таком горизонте, где она могла бы прилипнуть к кусковым материалам, т. е. в тех местах печи, где имеют место температуры порядка 900°. Вдуть пыль следует через специальные сопла сжатым до 4—6 атмосфер тонкоочищенным доменным газом. Газ приходится предварительно подвергать весьма тонкой очистке, чтобы не засорять delicate частей компрессора. От замены газа воздухом Гескамп категорически отказался, опасаясь, что в местах вдувания при применении воздуха может образоваться новый фокус горения. Пыль, при осуществлении патента Гескампа, из сухих газоочистителей высыпалась в специальные бункера, из которых попадала в пылепровод с проходящим в нем газом. Последний захватывал ее и по прямой трубе подавал вверх, к середине шахты, где она специальным соплом вводилась в печь (см. фиг. 13, где показана подача пыли в шахту из двух бачков двумя пылепроводами, работающими поочередно). Приходилось особенно заботиться о стойко-



Фиг. 13. Схема вдувания пыли в шахту доменной печи

сти. Приходилось особенно заботиться о стойко-

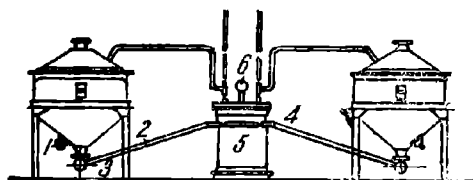
сти пылепроводов (из гладких и высококачественных цельнотянутых труб) и особенно их поворотов, которые приходилось изготавливать специальным образом, для придания им прочности в условиях сильно истирающего действия потока пыли. Пыль во всех случаях подавалась в одном месте, причем никогда пылевдвухание не оказывало отрицательного влияния на ход печи; ни одностороннего хода, ни похолодания, ни настывшей в результате пылевдвухания не наблюдалось в течение ряда лет. На заводе Рурорт Майдерих все доменные печи были оборудованы пылевдвухательными устройствами, утилизировавшими всю выносимую пыль, так что имеющуюся в заводе фабрику спекания пришлось питать пылью из старых заводских отвалов.

Упомянутые уже опыты в Голландии в 1932—1934 годах не подтвердили некоторых положений Гескампа и фактов, сообщаемых Мильденом. Здесь пыль, вдвухаемая в шахту, не осваивалась якобы полностью печью: часть ее выносилась обратно. Поэтому на голландском заводе стали сопло переносить ниже и так дошли до того уровня (на 1,1—1,6 м. выше уровня воздушных фурм), о котором мы говорили выше.

У нас, таким образом, не должно было бы составиться четкого представления о значении пылевдвухания в шахту на основании заграничных данных, если бы не было своего собственного опыта.

Уже первые литературные сообщения об успехах пылевдвухания в Германии возбудили к этому мероприятию значительный интерес заводов, проектных и исследовательских организаций, а также и печати. Разработку устройства для первых опытов, намеченных на доменной печи № 5 завода им. Дзержинского, взял на себя ленинградский Гипромез, который разработал, отличный от германского, способ вдвухания пыли в шахту. Главнейшей особенностью проекта является замена, по настоянию акад. М. А. Павлова и акад. А. А. Байкова, газа в качестве пылевдвухательного средства—воздухом: это сразу дало значительное упрощение и удешевление устройства, так как исключалась установка для тончайшей очистки газа и облегчались условия работы у компрессора. Замена газа воздухом не создала усиленного горения кокса в месте подвода, чего боятся в Германии, потому, что количества подаваемого сюда воздуха вообще ничтожны. Установка, в том виде, в каком она была осуществлена в 1932 году на доменной печи № 5 завода им. Дзержинского, изображена на фиг. 13, а детали ее на фиг. 14, 15 и 16 и не требуют пояснения, так как они соответствуют описанию, изложенному выше, при описании патента Гескампа. Фиг. 16 показывает, как исполняются трубы на поворотах; в виду того, что здесь есть особенная опасность износа трубы пылью, труба делается из двух входящих одна в другую изогнутых труб, между которыми заливается слой белого (твердого) чугуна. Первые опыты вдвухания, проведенные заводскими инженерами с участием проектировщиков из Ленгипромеза и начатые в присутствии акад. М. А. Павлова

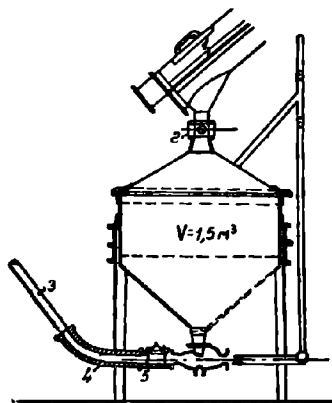
и акад. А. А. Байкова, показали полную целесообразность и безопасность (от взрывов и для службы шахты) вдувания пыли воздухом. Ход печи от этого не ухудшился, одностороннего хода (несмотря на вдувание, как и за границей, только с одной стороны) не было обнаружено. Вместе с тем вся пыль из сухих газоочистителей была утилизирована, чему соответствовало уменьшение расхода руды на 5⁰/₁₀.



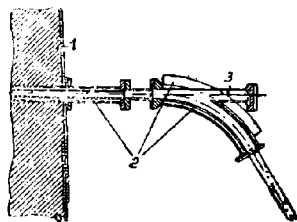
Фиг. 14 Вид пылеутилизационной установки: 1—люк; 2—воздухопровод к инжектору; 3—инжектор; 4—регулирующий вентиль; 5—воздухосборник; 6—манометр

Одновременно, кроме того, было получено и некоторое снижение расходов кокса и известняка (что, правда, могло иметь место и в силу иных причин, с пылевдуванием не связанных).

Так как первые опыты были еще недостаточны и больше являлись опытами освоения самого пылевдувательного устройства, чем исследованием влияния вдувания пыли на ход печей, то летом 1933 года Днепропетровский институт металлов совместно с техперсоналом



Фиг. 15. Установка бункера: 1—решетка с отверстиями 2 мм, через которые в бункер попадает только мелкая пыль; 2—верхняя пробка; 3—пылепровод к соплу; 4—нижнее колено; 5—нижняя пробка



Фиг. 16. Установка сопла в шахте: 1—кожух шахты; 2—залито „белым“ чугуном 3—отверстие для чистки сопла

завода им. Дзержинского провел новое, более длительное изучение пылевдувания в шахту доменной печи № 5. К этому времени установка была несколько изменена так, что было устроено два пылепровода, подводивших пыль в шахту двумя же соплами, в диаметрально противоположных точках.

Опыты длились в течение месяца, причем пыль вдувалась сжатым воздухом в разных количествах в одно или в два сопла.

При этом было окончательно установлено, что вдуваемая пыль из печи вторично не выносится, что одностороннее вдувание не дает никаких ухудшений в ходе печи в сравнении с двусторонним — при тех количествах пыли, которые удавалось вдувать при испытаниях (однако, возможно, что при бóльших количествах пыли понадобится и двустороннее вдувание). Никаких показаний на ухудшение работы печи или образование настывлей не было обнаружено. Вследствие вдувания до 90 тонн пыли в сутки (вся пыль, собранная из сухих газоочистителей доменной печи № 5, выплавлявшей в то время около 260 тонн чугуна в сутки) достигнуто снижение расхода руды на 7,8% при некотором (как и в первых опытах) снижении расхода кокса.

Примененный компрессор для воздуха (системы „Флотман“) имел следующие характеристики: число оборотов в минуту—960, рабочее давление в первой ступени — 5-6 атмосфер, во второй— 7-8 атмосфер, производительность—6 куб. м в минуту, мощность мотора—50 л. с.

Из всего изложенного можно заключить, что подозрение голландских доменщиков о повторном выносе вдуваемой пыли не подтверждается в наших условиях; что соображения германских доменщиков об опасности вдувания пыли воздухом не имеют никаких оснований; что пылевдувание в шахту является вполне эффективным и крайне выгодным средством утилизации, во всяком случае всей выносимой из данной печи пыли, без какого бы то ни было влияния на ход печи.

Сопоставляя тепер выводы о пылевдувании в шахту с выводами о пылевдувании в горн и заплечики, видим, что эти два способа не исключают один другого, а взаимно дополняют: полностью утилизируется пыль только при вдувании ее в шахту; вдувание же в области заплечиков и горна не является радикальным средством утилизации пыли, но зато, повидимому, может быть использовано как хорошее средство регулирования состава чугуна и шлака.

Вероятно, в дальнейшем там, где будут оборудоваться пылевдувательные установки, явятся целесообразным снабдить их двумя парами пылепроводов: к шахте и к нижней части заплечиков. Через первую пару пыль будет подаваться постоянно для утилизации, через вторую—только для регулирования хода печи. Пылепроводы должны будут быть парные для избежания возможного одностороннего хода при подаче очень больших количеств пыли.

В настоящее время доменные цеха юга СССР, работающие на пылеватой Криворожской руде и дающие большую производительность, теряют большое количество руды в виде колошниковой пыли. Цех, производящий 2,5—3 тысячи тонн чугуна в сутки, теряет в колошник не менее 1000—1500 тонн руды что стоит около 10 000 рублей. Это дает убытка в год около 3,5 млн. рублей. Любое средство утилизации этой

пыли, конечно, является приемлемым. Лучше всего пыль аггломерировать вместе с мелкой рудой. Это значительно снижает вынос пыли, повышает газопроницаемость шихты, повышает производительность печей и снижает расход кокса, руды и флюсов. Однако, не везде будет аггломерация. Ряд заводов будут работать на неаггломерированной руде. Правда, эти заводы будут получать бóльший процент кусковатой руды, чем теперь, так как заводы с аггломерационными фабриками будут перерабатывать, главным образом, пылеватые руды. Однако, заводы, работающие на рядовой руде, будут получать еще довольно много мелочи и вылет пыли на них будет заметен.

Таким образом, надо немедленно позаботиться о пылевдувательных устройствах. Но и заводы, где аггломерационные установки предусмотрены, но будут установлены через один-два года или позже, могут пока использовать пылевдувательные устройства. Эта мера себя окупит в несколько месяцев. В этом нетрудно убедиться, если сопоставить совершенно мизерные затраты на пылевдувание с тем большим эффектом, который от вдувания получится.

Таким образом, аггломерация пыли и ее вдувание — не взаимоисключающие меры, как некоторые думают, а взаимно дополняющие; где еще нет аггломерации — необходимо пылевдувание. Оно гораздо дешевле, чем аггломерация, хотя и дает меньший экономический эффект, так как не вызывает того роста производства и снижения расхода горючего, которые дает применение в шихту аггломерата.

При переводе заводов на рентабельную работу пылевдувание, введенное на каждом заводе, поможет сэкономить миллионы рублей.

Заключение

Мы описали важнейшие приемы, которыми может пользоваться доменщик для регулирования хода доменных печей. Эти приемы — конструктивные (профиль, устройство загрузочного аппарата, тип фурм) и эксплуатационные (состав шихты, ее свойства, размер колоши, уровень засыпи, количество и температура дутья). В особой, дополнительной, главе мы познакомили читателя еще и с пылевдуванием, как некоторым средством влияния на процессы в горне (в отношении изменения состава чугуна) и уже — попутно — как средством утилизации колошиновой пыли.

Из этой книжки читатель мог заключить, что ровный ход доменной печи — самое лучшее средство получения максимальной ее производительности с минимальными расходными коэффициентами. Однако это само по себе не приходит. Для достижения ровного хода печи необходимы внимательное наблюдение за печью и умелое регулирование работы ее при помощи тех или других средств.

Читатель видит, что арсенал средств, которыми можно влиять на течение доменного процесса, не очень велик. Но имеющиеся средства тоже не всегда и не все достаточно хорошо изучены.

Относительно некоторых из них известен только характер влияния их на работу печи, но нет данных о том, насколько велики эти влияния в каждом конкретном случае.

Поэтому предстоит еще долго изучать ряд методов управления домной.

Надо сказать, что не исключена возможность нахождения и новых путей и средств регулирования работы печей. Несомненно, в недалеком будущем таким средством явится кислород или дутье, обогащенное кислородом, но в этой области нужны еще длительные и упорные исследования с целью освоения этого нового средства управления домной. Наряду с этим возможны и другие новые пути, частично уже намечаемые, частично еще не обнаруженные.

Не исключена возможность, с обогащением арсенала средств и существенного изменения физиономии доменного процесса, существа технологии производства чугуна.

Но эта тема уже не входит в задачи настоящего заключения.

Многие из изложенных способов регулирования хода печей применяются и в борьбе с неполадками, расстройствами технологического процесса. Специально расстройств хода и их ликвидации мы не касались, считая, что разбору этой группы вопросов — о ненормальном ходе домны, — должен предшествовать анализ условий нормальной ее работы. Такому анализу, основанному на знании элементов теории доменного процесса, и была посвящена настоящая книжка.

Лишь познакомившись с изложенным здесь, можно подойти к здравому анализу расстройств хода и искать путей борьбы с ними.

Из изложенного читатель видел, что многие средства регулирования хода доменных печей (шихта, загрузка, количество и температура дутья, формы, профиль и т. д.), при умелом пользовании ими, правильном сочетании их между собой и своевременном применении, могут дать значительное повышение эффективности работы печей.

Изучение доменного процесса, тщательный уход за доменной печью, хороший контроль и учет работы доменного цеха на всех участках, сознательное, умелое и быстрое исправление и перестройка работы на ходу, — т. е. **стахановские методы работы**, дадут именно у нас, в стране социализма, неслыханную еще производительность труда и повышение эффективности рабочих агрегатов.

Об этом уже четко и ясно говорят достижения стахановцев и результаты первой стахановской декады работы доменных цехов.

Коэффициент использования объема доменных печей по номинальному времени за 20—29 января 1936 г.

20—29 января 1936 г.

Заводы	Декабрь 1935 г.	1-я пяти- дневка (20—24)	2-я пяти- дневка (25—29)	В среднем за декаду (20—28)
В среднем по НКТП	1,14	1,03	1,07	1,05
По заводам:				
Макеевский им. Кирова (без домен. №№ 3 и 7)	0,84	0,77	0,80	0,78
Им. Дзержинского	1,01	0,87	0,88	0,87
Н. Тагильский	1,06	0,83	0,94 ¹⁾	0,87 ²⁾
Азовсталь	1,08	0,91	0,95	0,93
Запорожсталь	1,06	0,93	0,93	0,93
Сталинский (Донбасс)	1,00	0,98	0,97	0,97
Мариупольский	1,31	0,95	1,01	0,98
Магнитогорский	1,11	0,96	1,04	1,00
Краматорский	1,12	0,98	1,04	1,01
Им. Петровского	1,01	1,01	1,01	1,01
Им. Ворошилова	1,03	1,05	1,05	1,05
Криворожский	1,21	1,00	1,12	1,06
Енакиевский	1,17	1,11	1,14	1,12
ДЗМО	1,11	1,04	1,24	1,13
Константиновский	1,26	1,17	1,11	1,14
Кузнецкий им. Сталина	1,13	1,11	1,26	1,18
Алмазьянский	1,36	1,16	1,31	1,23
Керченский	1,50	1,21	1,34	1,27
Ново-Липецкий	1,39	1,32	1,28	1,30
Косогорский	2,44	1,62	1,62	1,62
„Свободный Сокол“	2,21	1,78	1,77	1,77
Ново-Тульский	1,28	2,37	1,47	1,82

¹⁾ Среднее за 4 дня (25—28).

²⁾ Среднее за 9 дней (20—28).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

КЛАССИФИКАЦИЯ КРИВОРОЖСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

(Утверждена ГУМП и введена с 1 декабря 1935 г.)

Процентное содержание SiO ₂	№№ классов		Примечание
	Классы фосфористых руд, содержащих более 0,029% фосфора	Бессемеровские руды, содержащие фосфора не более 0,029%	
0—5	2	11	В кассы 7 и 8 входят также и бессемеровские руды, содержащие железа не меньше 50%
5—7		12	
7—9		13	
9—11		14	
11—13		15	
13—16		16	
16—20	7	—	
20—26	8	—	

- Класс 9.** Кварциты железистые, содержащие железа не менее 34%, имеющие не менее 80% кусков от 20 мм и не крупнее 150 мм (определяемых по двум измерениям).
- Класс 21.** Руда мартеновская, содержащая не менее 62% железа и не более 8% кремнезема, имеющая не менее 80% кусков не мельче 10 мм и не крупнее 150 мм (по двум измерениям), за исключением руд Буденновского рудника и если содержание серы в руде по паспорту не превысит 0,05%.
- Класс 22.** Руды шахт: им. Коссиора, „Коммунар“ и „Коммунар“ бис, Первомайской и им. Ильича, содержащие железа выше 58% (глиноземистые).
- Класс 23.** Те же руды, но содержащие железа 50—58%.
- Класс 24.** Руда шахты „Северная“ Красногвардейского рудоуправления.
- Класс 25.** Руда шахты № 1 и 8 Красногвард. рудоуправления, Рахмановка (им. Чубаря) и Валявка (им. Хатаевича).
- Класс 26.** Руда шахты им. Буденного.
- Класс 27.** Руда механического дробления и грохочения (за исключением рудника им. Шварца).
- Класс 29.** Руда бурый железняк, содержащая кремнезема не более 12% и железа не менее 50%.
- Класс 30.** Руда рудника им. Шварца, „Смычка“ и магнетиты карьера № 2 Первомайского рудника.

ПРИЛОЖЕНИЕ II

МАРКИ ЮЖНЫХ ЧУГУНОВ

(из стандарта на чугуны ОСТ 6386, введенного в действие с 1 апреля 1934 года)

1. Чугун литейный обыкновенный

Марки	Si		Mn	P	S	Примечание
	Норм.	от — до				
00	4,0	3,75—4,25	0,5—0,8	0,1—0,3 не более	0,03	При введении в шихту на литейный чугун до 30% керченских руд, допускается содержание Mn в чугуне от 0,7% до 1,3% и фосфора от 0,4 до 1,2%
0	3,5	3,25—3,75	0,5—0,8		0,03	
1	3,0	2,75—3,25	0,5—0,8		0,03	
2	2,5	2,25—2,75	0,5—0,8		0,04	
3	2,0	1,75—2,25	0,5—0,8		0,05	
4	1,5	1,25—1,75	0,5—1,25		0,06	

2. Чугуны гематитовые — те же литейные, но содержание фосфора в них должно быть не более 0,1%.

3. Чугуны пердеельные

Марки	Si	Mn	P	S	Примечание
Мартеновский .	0,5—1,5	1,2—2,5	до 0,3	до 0,08	В бессемеровском чугуне содержание P и S установлено в предположении применения его на изготовление стали, для которой не требуется представления химанализа техническими стандарта или заказа. В случае выплавки бессемеровского чугуна для стали с определенным анализом по стандарту или по анализу, содержание вредных примесей устанавливается соответствующими инструкциями и стандартами
Бессемеровский	1,0—1,75	0,8—1,25	до 0,8	до 0,06	
Томасовский (керченский) .	до 0,8	1,2—2,0	1,8—2,25	до 0,08	

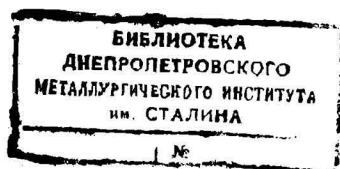
4. Чугуны специальные (ферросплавы)

Наименование	Si	Mn	P	S
Ферросилиций 1	11—14	0,3—1,0	до 0,18	до 0,05
Ферросилиций 2	8—11	0,3—1,0	до 0,18	до 0,05
Зеркальный 1	до 1,5	18—22	до 0,20	до 0,03
Зеркальный 2	до 1,5	14—18	до 0,18	до 0,03
Зеркальный 3	до 1,5	10—14	до 0,18	до 0,03
Ферромарганец 1	до 1,5	76—82	до 0,40	до 0,03
Ферромарганец 2	до 1,5	70—76	до 0,40	до 0,03
Силликашпигель	9—12	18—24	до 0,20	до 0,03

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	5
Шлак и его влияние на работу домны	7
Расход кокса	12
Составление шихты	19
Влияние состава шихты и ее свойств на работу домны	42
Засыпка материалов в доменную печь	57
Дутье в работе доменной печи	65
Размеры доменных печей и влияние их на процесс	80
Вдувание пыли в доменные печи	90
Заключение	97
Приложения	99



НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Цена 1 руб. 6 коп

52-3-(4)-2



Сканувала Радул М. А

НБ
УДУНТ
(ІПБТ)