

669.16.013.5
С65 4772



В. А. СОРОКИН

УСТРОЙСТВО
И
ОБОРУДОВАНИЕ
ДОМЕННЫХ ЦЕХОВ

МЕТАЛЛУРГИЗДАТ
1944

66 у. 10. 01. 57
С 65

Проф. В. А. СОРОКИН

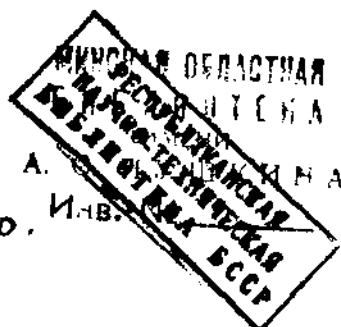
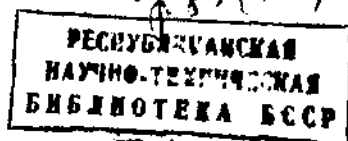
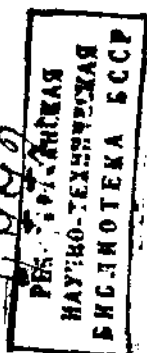
1957

Д Е П



УСТРОЙСТВО, ОБОРУДОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДОМЕННЫХ ЦЕХОВ

ЧАСТИ ТРЕТЬЯ И ЧЕТВЕРТАЯ



288 32-50.



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Свердловск 1944 Москва

Отв. редактор *И. Г. Кульбачный*

Подписано к печати 28/VII 1944 г.	НС 10254	Печ. л. 19,5
Уч.-авт. 31,0	Тираж 5500	Заказ № 01389

5-ая типография треста «Полиграфкнига» Огиза при СНК РСФСР
Свердловск, ул. Ленина, 47.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
78	23 стр.	1900 м ³	1900 м ²
95	» »	Фиг. 141 (правая часть) ошибочно повернута на 180°	
134	21 стр.	разгрузку	загрузку
149	5 стр.	закреплен подвижно	закреплен неподвижно
156	3 »	кольца 5	кольца 6
170	—	Разрез домны, изображенный на фиг. 203, относится к диаграмме фиг. 204 (стр. 182)	
182	—	» » изображенный на фиг. 204, относится к диаграмме фиг. 205 (стр. 188)	
188	—	» » изображенный на фиг. 205, относится к диаграмме фиг. 203 (стр. 170)	
201	Фиг. 206 д	CO ₂ и O ₂ , %	CO ₂ и CO, %
228	5 стр.	от 16 до 100%	от 43 до 100%
253	9 »	отвечали среднесуточным	не отвечали среднесуточным
286	4 стр.	Новосадасский	Новоспасский

В. А. Сарогин, Устройство и оборудование доменных цехов, ч. III и IV.

ОТ АВТОРА

Предлагаемые вниманию читателей III и IV части книги «Устройство, оборудование и эксплуатация современных доменных цехов», так же как и первые две ее части, носят монографический характер.

В III части книги рассматриваются устройства, связанные с подводом дутья, конструкции шахт и водопровода доменных печей; в IV части — распределение материалов и засыпные аппараты древесноугольных доменных печей.

В III части книги детально разбираются различные системы фурм, испытанных на практике; предложения новых конструкций фурм; расположение леток и, наконец, распределение дутья по фурмам и его регулирование. Наряду с этим даются предложения по улучшению существующих конструкций воздухоподводящих устройств и фурменных приборов для смены фурм без останова доменной печи.

Освещены вопросы механизации смены фурм и фурменных холодильников в современной доменной печи.

Подробно рассмотрены вопросы износа шахт.

В IV части широко освещены вопросы распределения материалов в доменной печи при различных профилях и приемах засыпи.

Подробные исследования работы доменных печей при самых различных режимах распределения материалов дают эксплуатационному персоналу необходимый материал для практической работы, а проектирующим организациям открывают пути дальнейшего рационального развития профиля доменной печи с приближением размеров диаметра колошника к размерам диаметра горна.

Выбор конструкций засыпных аппаратов рассматривается в связи с экономическими результатами доменной плавки и условиями эксплуатации древесноугольных доменных печей.

Особенно большое внимание уделяется распределению сырых материалов в доменной печи, а также засыпным аппаратам, ввиду того что в этих вопросах в настоящее время есть ряд спорных положений. Автор стремится ознакомить с современным уровнем и передовыми взглядами по этому вопросу широкие производственные и научные круги доменщиков, детально останавливаясь также и на перспективах дальнейшего развития доменной техники в рассматриваемых областях.

Обсуждение проблемных вопросов и их научная апробация несомненно помогут советским доменщикам в разрешении задач, поставленных перед черной металлургией решениями XVIII съезда ВКП(б) и великой отечественной войной Советского Союза.

Все замечания читателей, относящиеся к вопросам конструкций, оборудования и эксплуатации доменного процесса, будут приняты автором с благодарностью.

ПОДВОД ДУТЯ, ШАХТА И ВОДОПРОВОД ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

ГЛАВА I

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДАЧИ ДУТЯ В ДОМЕННОЮ ПЕЧЬ

§ 1. Воздухопровод горячего дутья и воздухораспределительная труба

Для подачи дутья от воздухонагревательных аппаратов к доменной печи устраивается железный клепаный или сварной воздухопровод, футерованный огнеупорным шамотовым кирпичом. В последнее время дополнительно к футеровке обязательно применяется изоляция.

Для распределения дутья по фурмам служит кольцевой воздухопровод.

Так как подача по воздухопроводу горячего дутья связана со значительными потерями тепла, то даже при наличии изоляции воздухопровод следует строить минимальным по длине.

Воздухопровод горячего дутья выполняется из котельного железа толщиной от 8 до 12 мм, причем листы толщиной 8 мм берутся для воздухопроводов древесноугольных доменных печей, а толщиной выше 10 мм для коксовых доменных печей.

Воздухопровод изготавливается обычно клепаным (однорядным) прочно-плотным швом с хорошей расчеканкой. За последнее время применяется нередко сварной воздухопровод горячего дутья (Магнитогорский, Н.-Тагильский завод и другие).

Сварной воздухопровод значительно дешевле клепаного и служит достаточно хорошо. Сварка выполняется встык (для прочности швы усиливаются ромбическими накладками). Воздухопровод, отремонтированный заваркой, работает успешно, поэтому опасений за надежную службу последнего не возникает.

Стальные отливки арматуры воздухопровода должны быть обязательно присоединены заклепочным швом как при клепаной конструкции, так и при сварной. Между фланцем отливки и воздухопроводом необходимо иметь прокладку толщиной 5—6 мм для расчеканки. Приварка отливок к воздухопроводу, хотя бы и качественно выполненная, не является надежной. Сварной шов легко дает трещины вследствие неравномерного расширения при нагревании литья и листового железа. Через трещины происходит просачивание горячего дутья, которое трудно остановить путем применения заварки.

На воздухопроводе горячего дутья через каждые 15—20 м необходимо устанавливать компенсаторы длины тарельчатого типа.

Футеровка воздухопровода выполняется обычно из одного или двух рядов шамотового кирпича и одного ряда изоляционного кирпича. Толщина шамотовой футеровки 230—250 мм, а толщина изоляционного слоя — 75—100 мм.

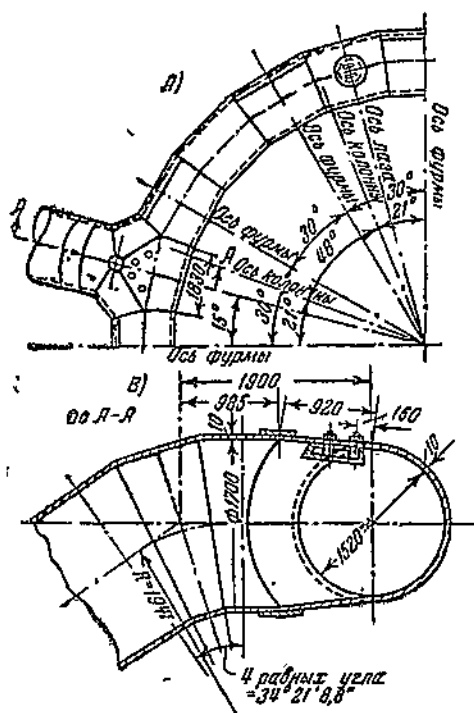
Внутренний диаметр воздухопровода можно рассчитывать на скорость дутья 30—60 м/сек, но обычно, вследствие громоздкости арматуры кауперов, диаметр кольцевого воздухопровода даже для больших доменных печей не превосходит 1200—1500 мм, а для подводящего воздухопровода обычно не выше 2000 мм.

При высоких скоростях дутья к кирпичу для футеровки воздухопровода должны быть предъявлены высокие требования в отношении сопротивления выветриванию.

Кирпич для футеровки может быть по форме стандартным сводовым или лекальным. Предпочтение следует отдать лекальному кирпичу, так как он требует значительно меньше времени для пригонки, что ускоряет кладку.

Подвод воздухопровода горячего дутья к кольцевой трубе может быть осуществлен радиально или тангенциально. При радиальном подводе, правильно осуществленном в конструктивном отношении, поток воздуха, поступающего из воздухопровода в кольцевую трубу, делится на две равные части, что обеспечивает сравнительно равномерное распределение дутья по воздушным фурмам, причем последнее будет иметь место в случае умеренных скоростей воздуха. При тангенциальном подводе воздухопровода к кольцевой трубе струя воздуха распределяется на две далеко неравные части, а именно большая часть воздуха поступает в направлении, совпадающем с направлением воздухопровода, а меньшая часть воздуха — в противоположном направлении, чем и объясняется неравномерное распределение дутья.

На одной из доменных печей Кушвинского металлургического завода тангенциальный подвод воздухопровода горячего дутья вызвал настолько неравномерный подвод дутья, что на стороне



Фиг. 1. Радиальный подвод воздухопровода к кольцевой трубе.

кольцевой трубы, расположенной в направлении тангенциального подвода, наблюдался преждевременный износ шахты доменной печи. Это обстоятельство может быть объяснено тем, что здесь поступало больше дутья в фурмы, чем с противоположной стороны, а следовательно, наблюдалось и большее образование горючих газов в этих фурменных очагах, что привело к преждевременному одностороннему износу кладки шахты. Нам кажется, что нет никакой необходимости применять тангенциальный подвод. В случае же его применения следует принимать меры в отношении такого размещения чугунной летки и шлаковых фурм, которое способствовало бы выравниванию количества дутья, поступающего в отдельные фурмы. Влияние расположения чугунной летки и шлаковых фурм на поступление дутья будет разобрано ниже.

Радиальный подвод воздухопровода к кольцевой трубе, выполненный правильно с конструктивной стороны, изображен на фиг. 1. Единственным недостатком такого подвода является наличие плоской части, что составляет препятствие при выкладке футеровки. Для обеспечения устойчивости кирпича в этом месте следует рекомендовать применение отливки, изображенной на фиг. 2, которая отфутеровывается огнеупорным кирпичом и служит подвесным сводом.

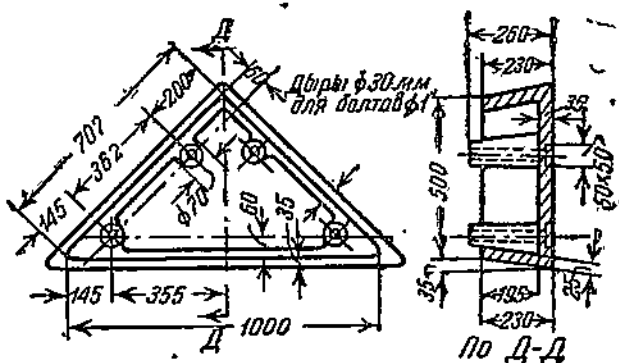
Выполнение футеровки и подача кирпича производятся через лазы диаметром 600—700 мм. Меньшие размеры лаза делать нежелательно, так как нередко футеровка производится в зимнее время и через лаз должен легко проходить рабочий в одежде. По тем же соображениям диаметр воздухопроводной кольцевой трубы не следует делать меньше 600 мм. Типовой лаз кольцевой трубы представлен на фиг. 3.

Лет 10—15 назад можно было встретить случаи, когда кольцевая труба опиралась через опоры с катками на кронштейны, прикрепленные к колоннам под шахту. Такая конструкция имеет серьезный недостаток, заключающийся в том, что вес кольцевой трубы, передаваемый колонне, вызывает в последней значительные изгибающие усилия и увеличивает вес железной конструкции. В настоя-

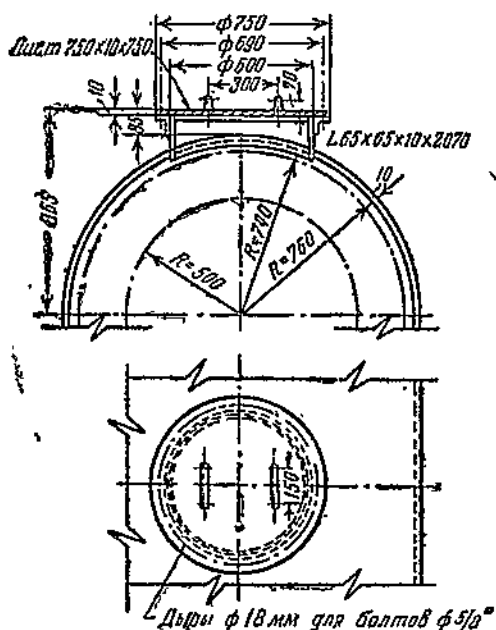
щее время эта конструкция повсеместно оставлена, применяется исключительно подвешивание кольцевой трубы к капители колонн под шахту или к основному кольцу. Устройство кольцевой трубы, подвешенной к капители колонны, приведено на фиг. 4. К кольцевой трубе против каждой колонны приклепываются две массивные отливки, а к капители колонны шарнирно присоединяются две подвески, которые соединяются с отливками солидными тягами с гайками. При помощи гаек производится выравнивание кольцевой трубы при монтаже, а если потребуется, то и во время эксплуатации.

Хорошее устройство подвески кольцевой трубы приведено на фиг. 5. При такой конструкции выравнивание кольцевой трубы производить более удобно, так как гайки находятся в хорошо доступном месте, а кроме того получается лучшее распределение усилий в колонне, что сказывается на уменьшении ее веса. На фиг. 6 показана видоизмененная подвеска к основному кольцу. Здесь труба охвачена бандажом, что улучшает распределение усилий в трубе в месте ее подвешивания. Применение такой подвески следует рекомендовать особенно в том случае, когда листовое железо для трубы взято толщиной менее 10 мм.

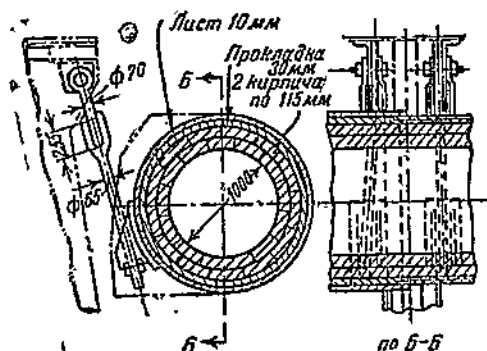
Расположение кольцевой трубы около доменной печи и вблизи от основного кольца дает возможность использовать ее для мостика, с которого производится обслуживание водопровода. В целях создания удобств при обслуживании



Фиг. 2. Отливка для подвешного плоского свода] кольцевой трубы.



Фиг. 3. Типовой лаз кольцевой трубы.



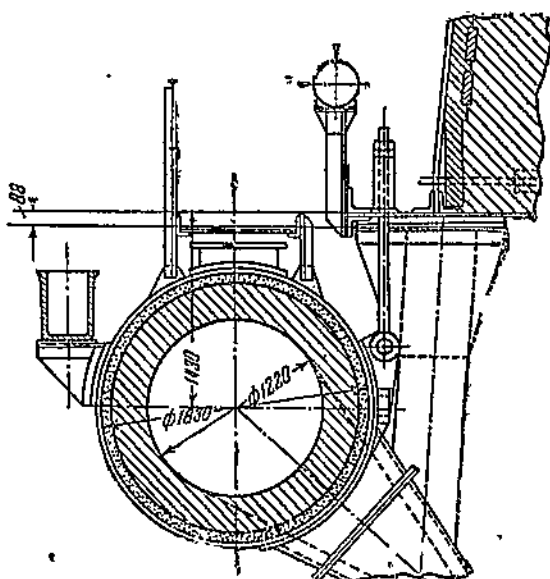
Фиг. 4. Подвеска кольцевой трубы к капители колонны.

живании желательно расстояние между мостиком и основным кольцом делать с таким расчетом, чтобы через него мог свободно опуститься к заплечикам одетый в зимнюю спецодежду рабочий.

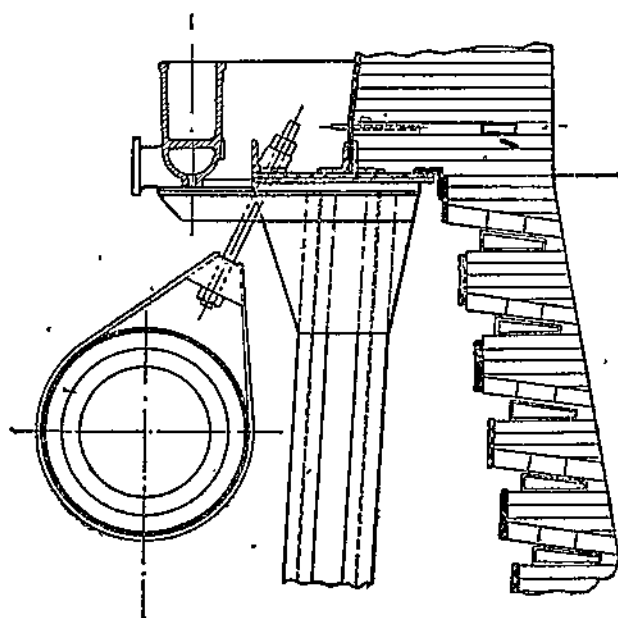
Перила мостика следует делать высотой около 1 м, а в нижней их части предусматривать предохранительный лист высотой 300—400 мм, что исключит возможность падения с мостика предметов вниз на рабочую площадку горна и связанный с этим травматизм. Желательно на уровне мостика делать оста-

новку лифта, обслуживающего доменную печь, потому что сюда приходится нередко поднимать тяжелые предметы: холодильники, арматуру водопровода и пр. В тех случаях, когда лифт при доменной печи отсутствует, необходимо предусматривать удобную пологую лестницу, достаточно свободную для переноски тяжестей. При наличии лифта эта лестница будет запасной и ее можно сделать меньших габаритов, однако и при этом нельзя допускать устройства лестниц типа стремянок, так как по ним при несчастном случае угорания трудно эвакуировать пострадавшего.

Следует считать весьма целесообразным расположение вблизи кольцевой воздухоприемной трубы главного кольцевого водопровода для питания охлаждающих устройств доменной печи, потому что в условиях зимнего времени такое расположение водопровода будет гарантировать его от замерзания при кратковременных остановках даже без циркуляции воды.



Фиг. 5. Подвеска кольцевой трубы к основному кольцу под шахту.



Фиг. 6. Подвеска кольцевой трубы к основному кольцу с применением бандажа.

§ 2. Распределение дутья по фурмам и влияние на него расположения чугунной и шлаковой леток

Почти до самого последнего времени считалось, что распределение дутья по воздушным фурмам происходит равномерно и что небольшая разница в поступлении воздуха в отдельные фурмы не может серьезно влиять на работу доменной печи.

Анализируя причины преждевременного и одностороннего износа кладки магнитогорских доменных печей [1 и 2], мы пришли к заключению, что неравномерное распределение дутья по отдельным фурмам в значительной степени вызывает односторонний разгар кладки доменных печей.

Количество газов, образующихся в фурменном очаге, пропорционально количеству дутья, поступающего через данную фурму. В тех фурменных очагах, куда поступает большое количество дутья, будет образовываться и большое количество газов, их скорости будут возрастать, что и послужит основной причиной износа стенок шахты печи. Упомянутое особенно рельефно выявляется при про-

филе доменной печи с большим превышением диаметра горна над диаметром колошника (бутылкообразный профиль). Так как расширение профиля над фурменными очагами будет способствовать разрыхлению материала и связанному с этим дальнейшему увеличению поступления дутья в эти очаги, увеличению количества образующихся газов и их скоростей, то износ стенок шахты будет иметь прогрессивный характер. Вот почему даже небольшое повышение количества дутья в одной из фурм в начале кампании печи, вследствие прогрессивного характера износа, может привести к преждевременному выходу доменной печи в ремонт.

Немалую роль в неравномерном поступлении дутья в отдельные фурмы играет распределение материалов на колошнике. Сосредоточение более проницаемой газами шихты над известными фурменными очагами будет вызывать повышение количества дутья, поступающего в них. В этом же направлении будет действовать уменьшение высоты столба материалов над фурменными очагами. В практических условиях нередко можно наблюдать разницу в глубине уровня засыпи в различных местах по периферии колошника, доходящую до 1 м, а иногда и выше.

В те фурменные очаги, над которыми столб шихты ниже, пойдет большее количество дутья.

Известно, что сход материалов над чугунной леткой обычно более быстрый, чем в остальных частях доменной печи. Над фурменными очагами, находящимися в области чугунной летки, располагается более разрыхленный материал, и высота столба его будет меньше. Все это способствует большему поступлению дутья в фурмы, расположенные вблизи чугунной летки.

Шлаковая летка также влияет на разрыхление столба материалов над фурменными очагами, к ней близко расположенными. При спуске шлака в первую очередь и более полно освобождается от шлака часть горна, непосредственно примыкающая к шлаковой летке, что и вызывает здесь более быстрый сход материалов, а вследствие этого разрыхление столба шихты и увеличение подачи воздуха.

Надо полагать все же, что влияние шлаковой летки значительно меньше влияния выпускного отверстия для чугуна.

В предыдущем параграфе отмечалась нецелесообразность тангенциального подвода дутья, вызывающего резко выраженное неравномерное распределение дутья по отдельным фурмам. Однако и второй способ подвода дутья — радиальный — не лишен этого недостатка, так как чем дальше расположена фурма от места подвода, тем больше сопротивления встречает на своем пути дутье и тем меньшее его количество поступает в указанную фурму.

Чтобы избежать усиленной подачи дутья в отдельные фурмы, необходимо обращать при проектировании внимание на расположение выпускного отверстия для чугуна, шлаковой летки и подвода дутья к кольцевой воздухораспределительной трубе.

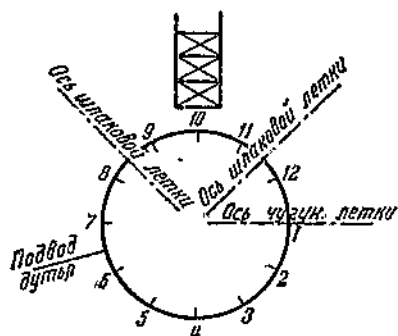
Лучше всего, если подвод дутья расположить под углом 180° к оси чугунной летки, тогда влияние подвода дутья и расположение чугунной летки на распределение дутья по фурмам будет уравниваться. Шлаковую летку не следует располагать близко к подводу дутья или чугунной летке и желательно при этом иметь угол не меньше 60° .

На Магнитогорском заводе подвод дутья к кольцевым воздухораспределительным трубам расположен под углом около 130° к чугунной летке. Это обстоятельство вызывает односторонний разгар кладки шахты печей и неблагоприятно сказывается на продолжительности их кампании. Максимальный износ кладки получается на стороне, противоположной наклонному подъемнику между чугунной леткой и подводом горячего дутья к кольцевой трубе, т. е. там, где по изложенным выше соображениям следует ожидать поступления в фурмы повышенного количества дутья.

Американские доменные техники давно интересовались вопросом распределения дутья между отдельными фурмами. Инженер Хайес, проводивший исследования доменных печей на заводах Карнеги Стил К°, сообщает, что неравномерность в поступлении дутья между отдельными фурмами достигает 10—20%.

Такая разница в количестве дутья, поступающего в отдельные фурменные очаги, как показывает практика, приводит к одностороннему износу шахты доменных печей, что значительно сокращает их кампанию.

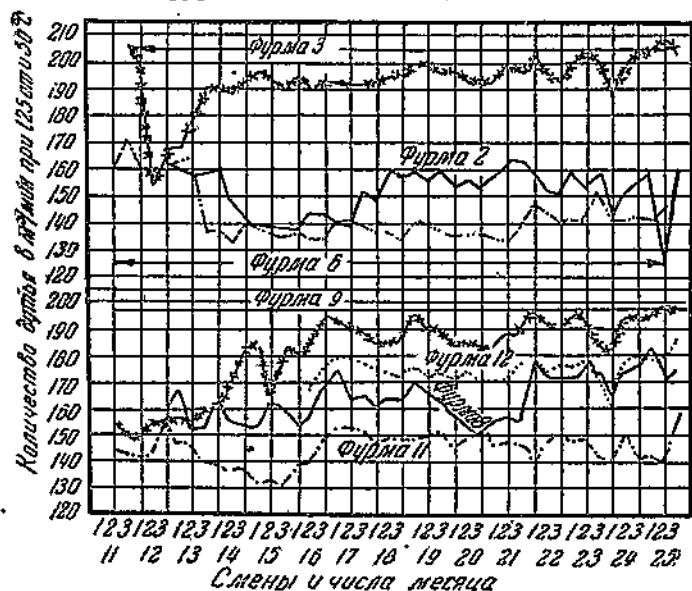
За последнее время интересное исследование, касающееся распределения дутья по фурмам, проведено проф. А. Н. Похвисневым, доц. С. К. Трекало и инж. Г. А. Воловик на доменной печи № 1 завода «Запорожсталь». Это исследование [3] проливает свет на количественную сторону вопроса и обращает внимание на важность для доменной практики знания оптимального дутьевого режима печей.



Фиг. 7. Расположение фурм на доменной печи № 1 завода «Запорожсталь» по отношению к мосту подъемника и леткам.

Расположение фурм на доменной печи № 1 завода «Запорожсталь» по отношению к мосту подъемника, подводу дутья к чугунной и шлаковой леткам показано на фиг. 7.

Расположение подвода дутья по отношению к оси чугунной летки не может быть признано рациональным, так как подвод не находится под углом 180° к чугунной летке. Однако расположение шлаковых леток на стороне подъемника несколько компенсирует уменьшение подачи дутья в фурмы, расположенные на этой стороне. Можно полагать, что на этой печи при фурмах равного диаметра и работе их полным сечением наибольшее количество дутья будет поступать в фурмы 1, 2, 12, 7 и 6, а наименьшее — в фурмы 3, 4, 5,



Фиг. 8. Количество дутья, поступившего через разные фурмы, по сменам с 11 по 25 сентября.

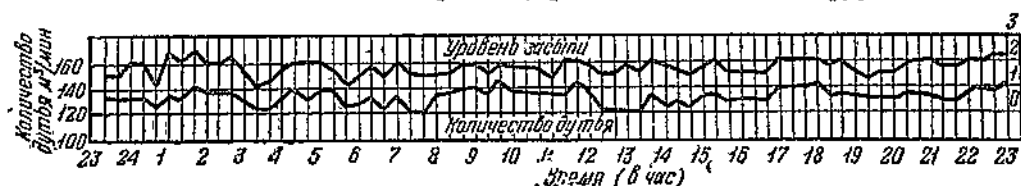
10 и 11. Для измерения количества дутья проф. А. Н. Похвиснев с сотрудниками применил установку диафрагмы между соплом и коленом фурменного прибора, что следует считать удачным, а результаты измерения, если и недостаточно абсолютно точными, то вполне удовлетворяющими требованиям сравнительной оценки поступления дутья в отдельные фурмы. К сожалению, измерением количества дутья были охвачены не все фурмы, а только 2, 3, 6, 8, 9, 11 и 12.

На фиг. 8 показано количество дутья, поступившего через разные фурмы. Поскольку фурмы 3 и 9 имели диаметр 210 мм, в то время как прочие фурмы

были диаметром 190 мм, то максимальное количество дутья, как это видно из фиг. 8, поступало в более широкие фурмы 3 и 9.

Минимальное количество дутья поступало в фурму 11, что вполне согласуется с ее расположением. Фурма 6 принимала большее количество дутья вначале, когда ее диаметр был 190 мм, но после уменьшения диаметра до 150 мм количество дутья сильно уменьшилось. Этот факт подтверждает большое влияние расположения подвода дутья на количество дутья, поступающее в ближайшие к подводу фурмы. Фурмы 2 и 12, расположенные вблизи чугунной летки, под ее влиянием принимали много больше дутья по сравнению с фурмой 11. Таким образом значение расположения подвода дутья и леток для количества дутья, поступающего в фурмы, подтверждается данными приведенного исследования.

Влияние высоты столба материалов, расположенных над фурменным оча-



Фиг. 9. Сопоставление колебаний уровня засыпи над фурмой 11 и количества дутья, поступающего через эту фурму.

гом, на количество дутья, поступающего в фурму, также подтверждается указанным исследованием.

Сопоставление колебаний уровня засыпи над фурмой 11 и количеством дутья, поступавшего через эту фурму, произведено на фиг. 9, где видно, что всякое изменение уровня засыпи сопровождается изменением количества дутья. Сопротивление столба шихты, расположенного над фурменным очагом, зависит не только от высоты столба, но и от состояния материалов по его высоте, поэтому не всегда понижение уровня засыпи соответствует повышению количества дутья, а повышению уровня засыпи — уменьшению количества дутья. Высота зоны шлакообразования над фурменным очагом, а также расположение границы прямого и непрямого восстановления руды не может не оказывать влияния на сопротивление столба шихты проходу газов. Но во многих случаях понижение столба шихты влечет за собой увеличение количества дутья, и наоборот.

В табл. 1 приведено сравнение максимального и минимального количества дутья, поступающего в фурмы одинакового размера, диаметром 190 мм.

Таблица 1

Распределение дутья по фурмам доменной печи № 1 завода «Запорожсталь»

Дата	Количество дутья, поступившее через фурмы диам. = 190 мм, м³/мин		Разница в % к минимальному	Примечание
	максимальное	минимальное		
11	167 (фурма 3)	146 (фурма 11)	14,4	В отдельные дни, например, 16 и 17 сентября, фурма 2 пропускала меньше воздуха, чем фурма 11. Это объясняется периодическим затягиванием фурмы 2 шлаком начиная с 14 сентября. Так как эта причина имеет временный характер, то в эти дни разница в количестве дутья подсчитана по поступлению дутья в фурмы 12 и 11.
12	174 (» 3)	150 (» 11)	16,0	
13	160 (» 2)	143 (» 11)	12,0	
14	158 (» 8)	139 (» 11)	13,7	
15	150 (» 8)	124 (» 11)	21,0	
16	173 (» 12)	145 (» 11)	19,3	
17	177 (» 12)	152 (» 11)	16,4	
18	174 (» 12)	150 (» 11)	16,0	
19	176 (» 12)	151 (» 11)	16,5	
20	171 (» 12)	145 (» 11)	18,0	
21	174 (» 12)	148 (» 11)	17,6	
22	175 (» 12)	146 (» 11)	20,0	
23	175 (» 12)	146 (» 11)	20,0	
24	175 (» 12)	146 (» 11)	20,0	
25	184 (» 12)	148 (» 11)	24,3	

Данные табл. 1 показывают, что разница в количестве дутья, поступающего в отдельные фурмы в зависимости от высоты столба шихты над фурменными очагами и их состояние в отношении проницаемости может доходить до 20—23°.

Особое внимание приходится обратить на неравномерность поступления дутья, так как работа доменной печи вследствие этого значительно ухудшается. Ухудшается контакт газов и столба шихты, а также подготовка руды перед приходом ее в горн над теми фурменными очагами, куда поступает меньшее количество дутья, вследствие чего образуется и меньшее количество газов.

Работа горна доменной печи тесно связана с поступлением дутья в отдельные фурмы, и неравномерность этого поступления влечет за собой неравномерность температурного режима, по сечению горна, изменение конфигурации и производительности по горению кокса отдельных фурменных очагов и, как следствие, неравномерность схода материалов и распределения газового потока в доменной печи, что резко снижает экономичность плавки.

В настоящее время назрела необходимость в регулировании количества дутья по отдельным фурмам, а также контроля количества дутья, подаваемого в каждую фурму.

Предложения, сделанные в этой области за последнее время, приведены ниже.

§ 3. Выбор размеров трубопроводов горячего дутья

При расчете трубопроводов горячего дутья следует исходить из условия, чтобы сопротивление проходу воздуха в воздухопроводной сети было минимальным. Однако это требование не всегда возможно выполнить, так как минимальное сопротивление связано с применением небольших скоростей, а наличие последних приводит к большим диаметрам трубопроводов и клапанов горячего дутья. Большие размеры клапанов вызывают серьезные затруднения в их изготовлении и эксплуатации.

Без получения особо больших потерь давления можно допускать в трубопроводах горячего дутья действительные скорости 60—80 м/сек.

Для небольших доменных печей можно и желательно скорость дутья в трубопроводах делать меньше, чем 60 м/сек, однако не имеет смысла понижать диаметр воздухопровода ниже 500—600 мм.

§ 4. Устройство фурменных приборов и их эксплуатация

Требования, предъявляемые к рациональной конструкции фурменного прибора: 1) герметичность соединений, сводящих потери нагретого дутья к минимуму, и 2) простота обслуживания и минимальная затрата времени на операции при смене охлаждательных устройств фурменного отверстия.

На протяжении последних трех десятилетий вначале на американских заводах, а впоследствии на заводах Советского Союза, получил повсеместное распространение фурменный прибор, впервые предложенный Кеннеди и изображенный на фиг. 10.

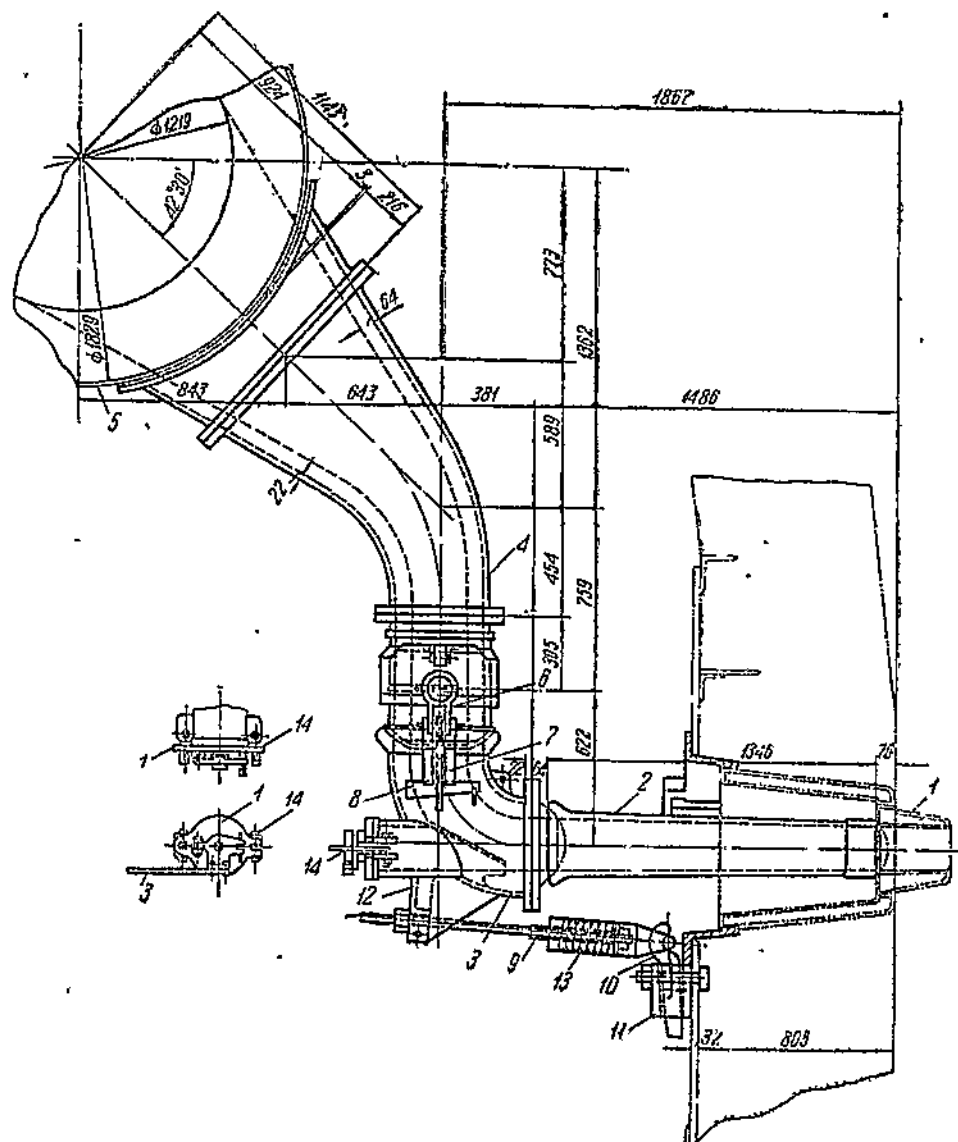
В фурму 7 упирается чугунное литое сопло 2, которое другим концом соединяется с фурменным коленом 3, подвешенным к рукаву 4, состоящему из трех частей, соединенных фланцами, и прикрепленному к кольцевой воздухораспределительной трубе 5.

Фурменное колено подвешивается к патрубку на две подвески 6, проходящие через два прилива 7 и закрепляемые снизу клином 8.

Соединение между фурменным коленом и рукавом шаровое, благодаря чему имеется возможность при ослаблении клиньев подвески сделать это соединение подвижным и отвести фурменное колено. Закрепление шаровых соединений фурменного колена и сопла обеспечивается натяжным болтом 9, прикрепленным одним концом к кожуху горна через крюк 10 и обойму 11, а другим концом при помощи гайки к кронштейну 12 фурменного колена. Наличие пружины 13, надетой на натяжной болт, и шарового соединения обеспечивают прижатие сопла к фурмой и фурменного колена и его герметичность в случае неточности уста-

новки и при изменении положения вертикальной и горизонтальной его оси в процессе эксплуатации. Обработка шаровых соединений должна быть самая тщательная с шабрением в притирку.

Для надзора за горением в фурменном очаге и для очистки сопла и фурмы на фурменном колене предусмотрена гляделка 14.



Фиг. 10. Общее устройство фурменного прибора.

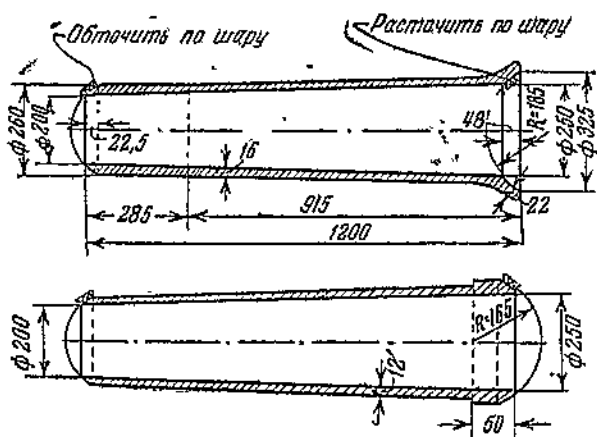
При смене фурмы или холодильников фурменного отверстия фурменный прибор демонтируется сравнительно просто и после замены холодильных устройств вновь собирается.

Для демонтажа необходимо освободить клинья и снять натяжной болт, после чего получается возможность отвести колено, убрать сопло и приступить к выбивке фурмы, ее удалению и замене, а также, если требуется, к смене фурменного холодильника и амбразуры.

При монтаже фурменного прибора операции идут в обратном порядке, причем желательно натяжной болт ставить и подтягивать сразу же после установки

сопла и только после этого подтягивать клиньями колено фурменного рукава.

Сопло, показанное на фиг. 11, изготавливается на заводах СССР литым чугуном, что имеет крупные недостатки. Чугунные сопла лучше всего изготавливать из перлитного чугуна и перед постановкой подвергать гидравлическому испытанию на 4—5 ат. При попадании воды или при забрасывании шлака чугунные сопла дают трещины, а нередко и разрываются, что приводит к авариям. Так например, разрыв сопла на одной из доменных печей Магнитогорского завода, происшедший поблизости от шнорт-клапана и отрезавший доступ к нему, был причиной крупной аварии, сопровождавшейся выбросом из печи нескольких десятков тонн раскаленного кокса за несколько минут до остановки турбовоздуходувки. Выход из строя чугунных сопел, главным образом из-за трещин, настолько значителен, что простои, связанные с этим, нередко достигают 10—15% общего времени простоев печи за год.



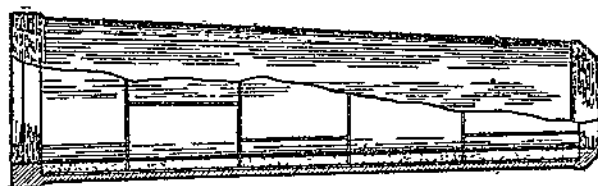
Фиг. 11. Чугунное сопло фурменного прибора.

Дутье, проходя через чугунное сопло, значительно охлаждается и теряет при этом свой нагрев, что заметно сказывается на расходе газа для воздушнонагревательных аппаратов.

В связи с упомянутыми выше недостатками чугунных сопел следует указать на рациональные конструкции двухстенных стальных сопел с изоляцией, ко-

торые появились уже шесть лет назад и широко распространяются на американских заводах, но еще не внедрены в практику заводов СССР. Одна из кон-

струкций приведена на фиг. 12. Сопло с изоляцией лишено недостатков чугунного литого сопла, имеет продолжительный срок службы, не коробится, так как внутренняя труба выполняется из жароупорной стали, не дает трещин и обеспечивает минимальное падение температуры дутья.



Фиг. 12. Сопло с изоляцией.

Ввиду того что натяжные болты при выходе из строя влекут за собой выброс раскаленных материалов и пламени из горна печи и вызывают немедленную ее остановку, последние должны подвергаться испытанию во время приемки печи.

Изготавливаются натяжные болты из мягкой стали, их пружины устанавливаются в предохранительной коробке (см. фиг. 10).

Нередко болт ставится под гайку на прилив к фурменному колену со спиральной круглой пружины или с пластинчатой пружины буферного типа (фиг. 13).

Фурменный рукав следует выполнять стальным литым с толщиной стенки 20—25 мм. Футеровка делается из фасонного кирпича толщиной 60 мм. Для более равномерного нагрева фурменного рукава патрубок гляделки следует также футеровать, что удлиняет срок службы колена.

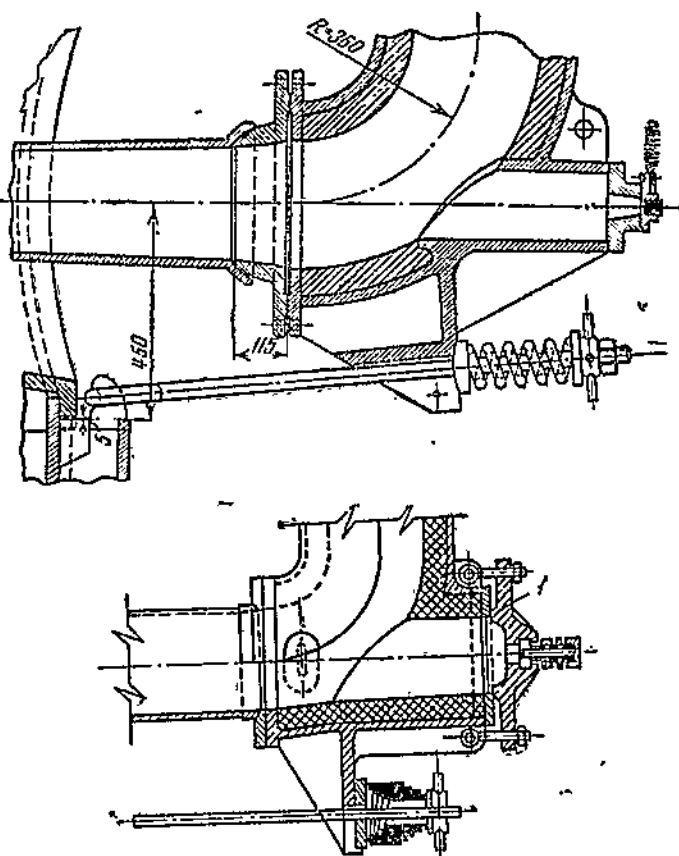
В условиях Магнитогорского завода опыт изменения фурменного колена без футеровки патрубка гляделки (фиг. 14) на конструкцию с футеровкой патрубка, приведенную на фиг. 15, оказался положительным. Увеличение диаметра патрубка гляделки при наличии футеровки вполне допустимо.

Весьма существенное значение в условиях эксплуатации приобретает устройство гляделки, позволяющей быстро выполнять необходимые операции при неполадках в работе горна, что сказывается на уменьшении простоев печи.

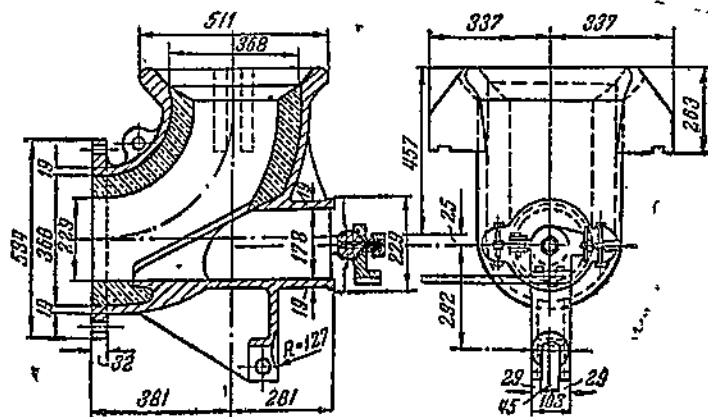
Прочистка фурм и наблюдение за горением требуют от конструкции гляделки герметичности, тогда как спуск шлака из фурменного прибора через гляделку требует максимальной быстроты открывания ее фланца.

По нашему мнению, наиболее удобный в обслуживании тип гляделки изображен на фурменном рукаве фиг. 10, а увеличенный разрез ее приводится на фиг. 16. Фланец гляделки 7 прикреплен на двух шарнирах к патрубку фурменного колена, причем закрепление болтов 2 шарниров осуществляется при помощи клиньев, что соответствует свободному открыванию фланца в любую сторону с максимальной быстротой, без какого-либо специального инструмента, а это чрезвычайно важно при авариях, связанных с заливкой шлаком сопел и фурменных рукавов.

Дверка гляделки укреплена на шарнире к приливам фланца, а с другой стороны закрепляется клином за его выступ. Длинная ручка 3 дверки предотвра-



Фиг. 13. Натяжные болты: сверху — со спиральной пружиной круглого сечения; внизу — с пружиной буферного типа.



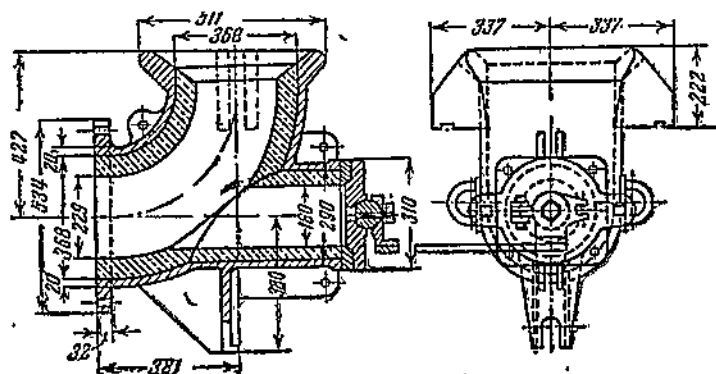
Фиг. 14. Колесо фирмы Мак-Ки.

щает ожоги, могущие иметь место при близком соприкосновении с фурменным

рукавом. Между дверкой и фланцем в шаровой заточке помещается шарик 14 со смотровым каналом круглого сечения и выступом, на который ставится стекло и надевается гайка. Дверка гляделки при чистке фурмы открывается в сторону.

На Магнитогорском заводе в конструкции гляделки было внесено одно изменение — ее фланец был снабжен шаровой заточкой, что оказалось несколько дороже, но более герметично, чем асбестовая прокладка.

Гляделка первой типовой доменной печи (фиг. 17) представляет собой вертикальный клин 1, закрывающий отверстие во фланце, предназначенное для чистки фурмы. Клин имеет смотровой канал, перекрываемый нипелем с гайкой и стеклом. В верх-

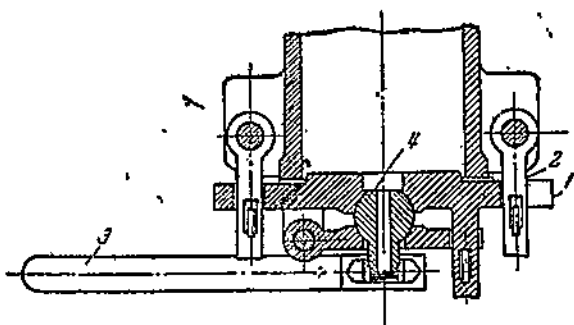


Фиг. 15. Фурменное колено доменной печи № 1 Магнитогорского завода.

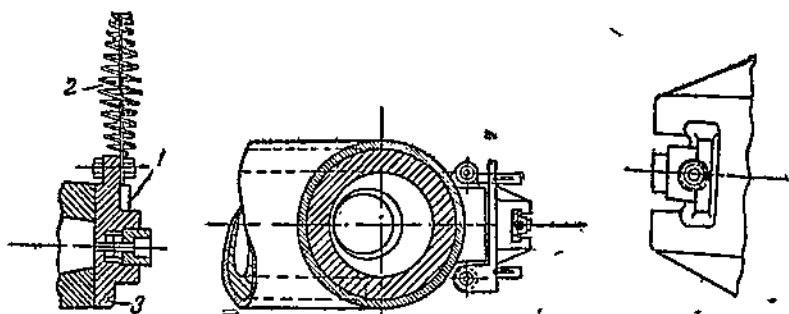
ней части клин имеет проволочную ручку 2, хорошо охлаждаемую воздухом. При помощи этой ручки клин может быть быстро вынут из гнезда, освобождая отверстие для очистки.

Прикрепление фланца к патрубку гляделки может быть принято по типу, применяемому у печей Магнитогорского завода (фиг. 17, справа).

Выше, на фиг. 13 была приведена гляделка, аналогичная гляделкам, получившим распространение на заводах Юга СССР. Детали этой гляделки приведены на фиг. 18. В горизонтальном пазу фланца 1 (фиг. 13), имеющем шаровую заточку в месте примыкания к патрубку, помещается клин 2 (фиг. 18) с одним круглым отверстием 3 и вторым овальным 4. При движении клина круглое или овальное его отверстие может устанавливаться



Фиг. 16. Гляделка фурменного колена.

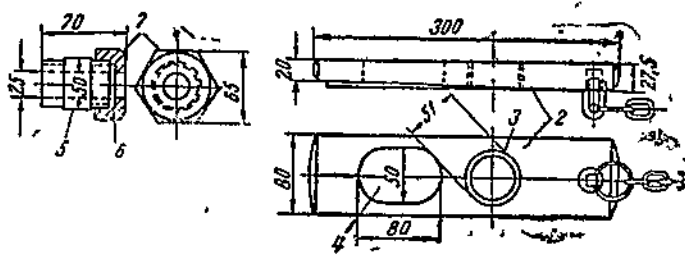


Фиг. 17. Гляделка первой типовой доменной печи: слева — общий вид, справа — вид в плане.

против отверстия во фланце. Круглое отверстие закрыто нипелем 5, один конец которого соединяется резьбой с клином, а второй закрыт стеклом 6, прижатым гайкой 7, и служит смотровым каналом. Овальное отверстие служит для чистки

фурм, в момент которой клин подвигается в пазу так, чтобы отверстия во фланце и клине совпали.

Гляделка описанного типа достаточно герметична. Ее недостатками является лишь неудобство открывания фланца на случай спуска из фурменного рукава жидкого шлака. Это неудобство связано с медленным снятием гаек с болтов при помощи ключа, что не может быть выполнено с такой быстротой, какая имеет место при клиновом соединении фланца в гляделках печей Магнитогорского завода.



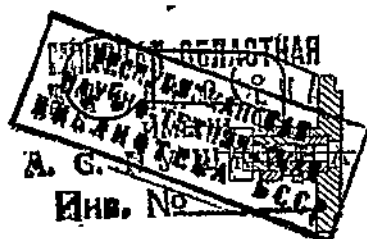
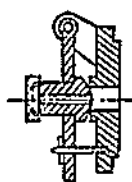
Фиг. 18. Детали гляделки, применяемой на печах заводов Юга СССР.

На фиг. 19 показаны гляделки, применяемые на печах английских заводов. По устройству они напоминают гляделки конструкции Магнитогорского завода.

Патрубки фурменного рукава должны быть стальными литыми с толщиной ст. 20—25 мм.

на избежание обрыва фурменного колена подвески вместе с клином подвер-
жен механическому испытанию на разрыв под действием пятикратной нагрузки.

Для большей безопасности под-
у выполняют с прорезью, а
снабжают шплинтовым коль-



Фиг. 19. Гляделки фу́рменного прибора, применяемые на английских заводах.

При тяжелом фурменном рукаве фланцевые соединения в месте примыкания к кольцевой воздухо-распределительной трубе нередко с течением времени утрачивают герметичность, вследствие растягивания болтов, поэтому рекомендуется подвешивание рукава к основному кольцу под шахту доменной печи на фиг. 20.

Если на заводах СССР и США конструкция фуруменного прибора приобрела стандартные формы, то на заводах Европы можно встретить еще ряд конструкций, правда, не заслуживающих подражания, но представляющих интерес в своих отдельных частях.

На фиг. 21 приведен фурменный прибор европейского типа с коленом, подвешенным к монорельсовой тележке. Такое приспособление представляет большое удобство и значительно облегчает труд рабочих при смене охлаждающих устройств фурменного отверстия. При отводе фурменного прибора в сторону около фурменного отверстия становится значительно просторнее, что способствует ускорению смены фурм. На этом же фурменном приборе мы можем видеть применение двухстенных отливок, причем литье последних должно быть высококачественным.

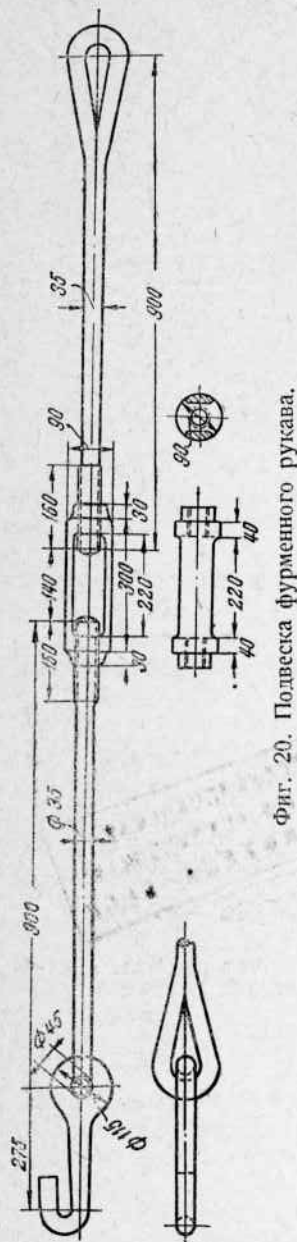
Другая конструкция фурменного прибора европейского типа показана на фиг. 22. Она отличается от описанных выше применением шарового клапана для отъединения кольцевого воздухопровода от атмосферы во время смены фурм,

что создает большие удобства. При взятии доменной печи на тягу через нагретый воздушнонагревательный аппарат, при отъединенном от атмосферы кольцевом воздухопроводе устраняется подсос воздуха и возможность образования взрывоопасной смеси в воздухопроводе горячего дутья.

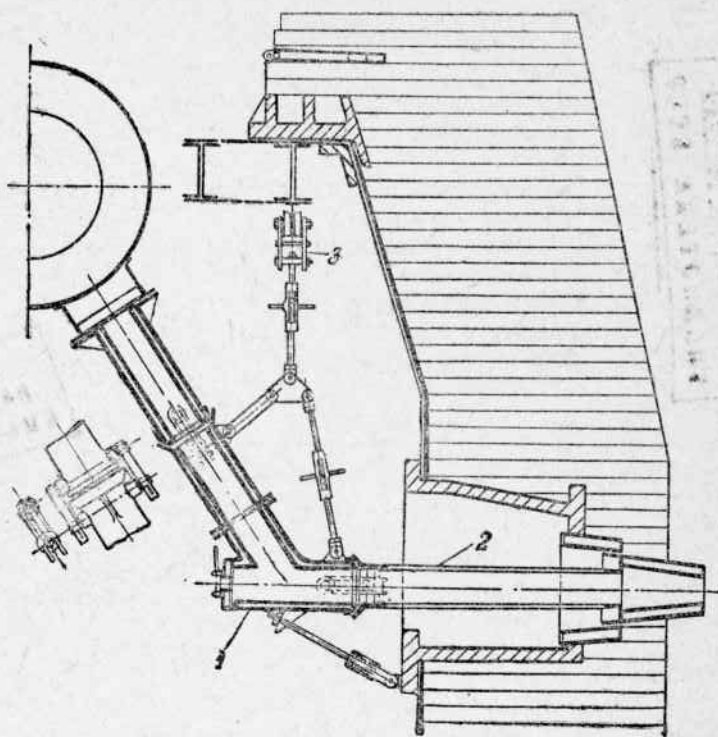
Устройство шарового клапана представлено на фиг. 22.

На фиг. 23 приведен фурменный прибор с задвижкой для регулирования количества дутья по фурмам. При таком устройстве неумелое регулирование количества дутья по фурмам принесет не пользу, а вред для процесса ведения плавки, тогда как умелое, наоборот, облегчит ведение доменной печи на оптимальном дутьевом режиме. Применение задвижек на фурменных рукавах на заводах США и СССР оставлено было без достаточных оснований.

При усовершенствовании конструкции задвижки



Фиг. 20. Подвеска фурменного рукава.



Фиг. 21. Фурменный прибор европейского типа с коленом, подвешенным к монорельсу: 1 — колено; 2 — сопло; 3 — тележка для уборки колена.

вполне можно ликвидировать потери дутья, которые обычно имели место во фланцах и корпусе задвижки.

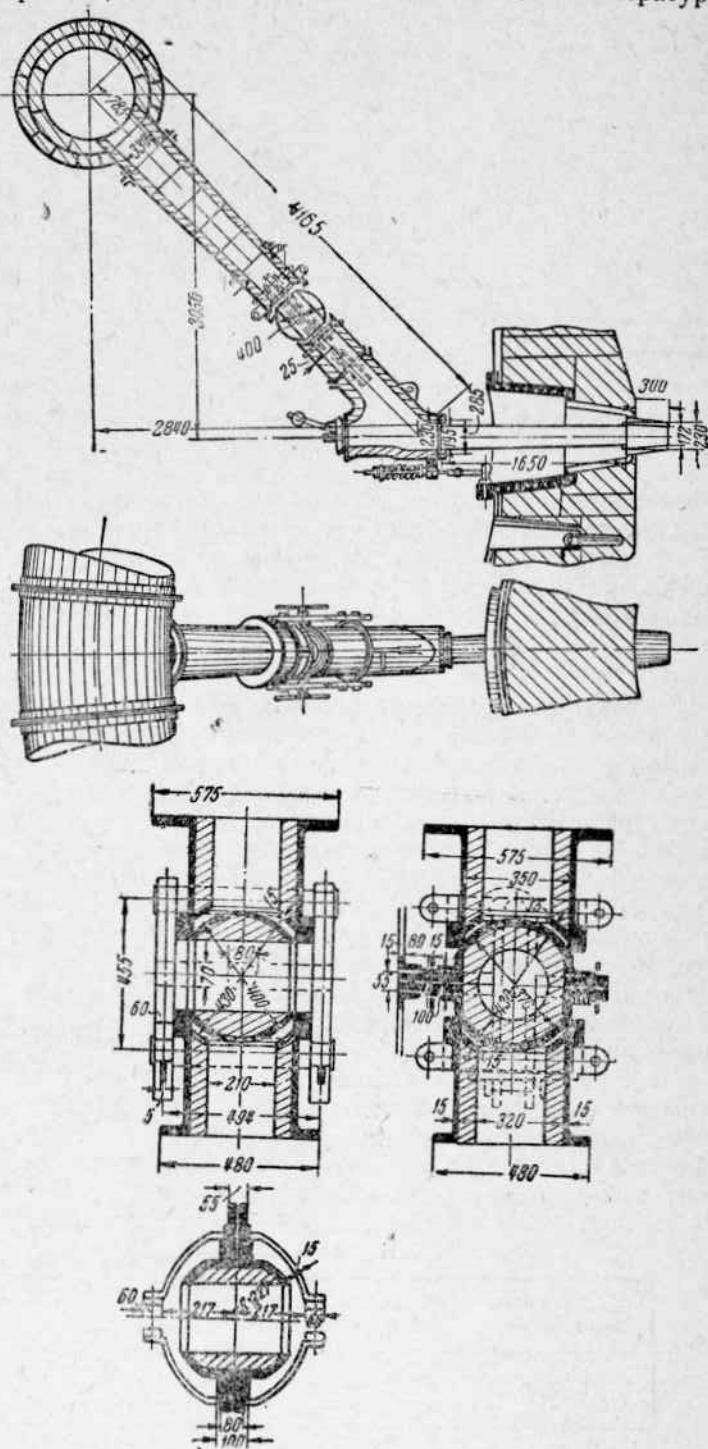
В европейской практике нередко делают воздушные фурмы в два ряда. Второй ряд фурм устраивается в заплечиках и работает иногда постоянно, иногда только при неполадках. Наличие второго ряда фурм особенно помогает процессу при ходе доменной печи с наклоном к осадкам, так как увеличение окислительной зоны фурменных очагов ведет к выгоранию кокса на сравнительно боль-

шей площади сечения в горнах в большем объеме, что сказывается благоприятно на улучшении схода материалов, а также повышает зоны высоких температур. Устройство фурменного рукава для фурм заплечиков видно на фиг. 24.

При изготовлении фурменного прибора необходимо иметь тщательную обработку фланцев и шаровых заточек. Стальные отливки должны быть без пузырей для обеспечения герметичности стенок и фланцев. В собранном виде фурменный прибор должен быть подвергнут гидравлическому испытанию под давлением 5—6 ат. При этом испытании свободное сечение фурменного прибора или отдельных частей его перекрывается во фланцах заглушками, а через одну из них, имеющую патрубок для присоединения нагнетательной трубы, подается вода от насоса.

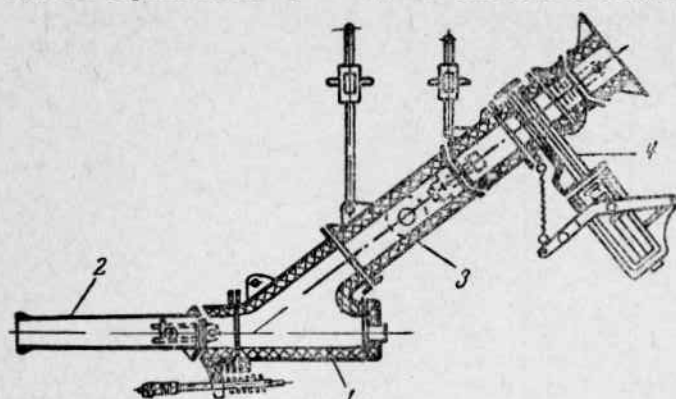
После успешного гидравлического испытания фурменного прибора производится воздушное от компрессора давление 3—4 ат, при этом фланцевые и шаровые соединения должны сохранять полную герметичность.

Итак, хорошо изготовленный в отношении герметичности фурменный прибор может при правильных условиях его эксплуатации успешно служить полную кампанию доменной печи. В случае же негерметичности горячее дутье, нагревая отливку, вызывает коробление, дальнейший рост зазора и потери дутья, с течением времени все увеличивающиеся. При невнимательном отношении к содержанию фурменных



Фиг. 22. Фурменный прибор европейского типа с шаровым клапаном: сверху—общий вид прибора; внизу — шаровой клапан.

приборов потери дутья могут по этой только причине составить до 15—20%, что сильно отразится на производительности печи и экономичности доменной плавки.



Фиг. 23. Фурменный прибор европейского типа с задвижкой: 1 — колено; 2 — сопло; 3 — труба; 4 — задвижка.

§ 5. Охлаждение фурменного отверстия и ввод дутья в печь

Устройства для охлаждения фурменного отверстия и ввода дутья в печь состоят обычно из фурмы, фурменного холодильника и амбразуры.

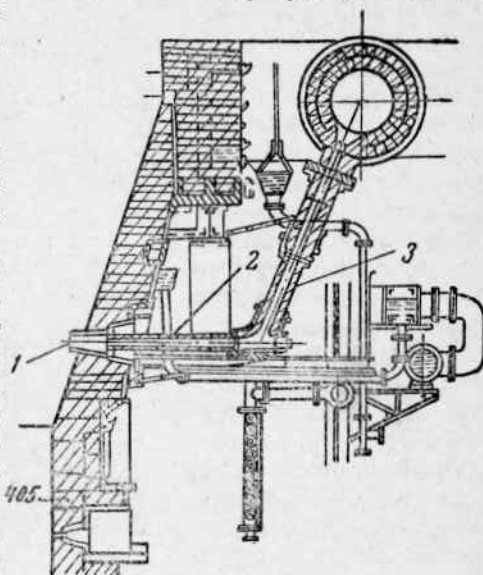
На фиг. 25 приведено охлаждение фурменного отверстия, характерное для американских заводов, с двумя охлаждаемыми водой элементами (фурмой и амбразурой).

фурменным холодильником), а на фиг. 26 показано устройство с тремя охлаждаемыми элементами (фурмой, фурменным холодильником и амбразурой), имеющее более легкий фурменный холодильник и предпочитаемое, как более надежное, на заводах СССР.

1. Высов фурм

Фурмы предназначены для ввода дутья в доменную печь, причем дутье подается за линию огнеупорной кладки во избежание износа последней от действия высокой температуры фурменных очагов. Выдвижение фурмы за линию огнеупорной кладки осуществляется на величину, зависящую от угла наклона заплечиков и скорости выхода дутья из фурм. Чем круче заплечики, тем фурмы должны иметь больший высов. Более высокая скорость выхода дутья позволяет уменьшить высов фурм. Данные по высову фурм приведены в табл. 2.

Так как размер фурменного очага зависит от проницаемости материалов перед фурмами, то при выборе размера высова фурм необходимо считаться с характером проплавляемых материалов.



Фиг. 24. Запасный фурменный прибор европейского типа для заплечиков: 1 — фурма; 2 — сопло; 3 — фурменное колено.

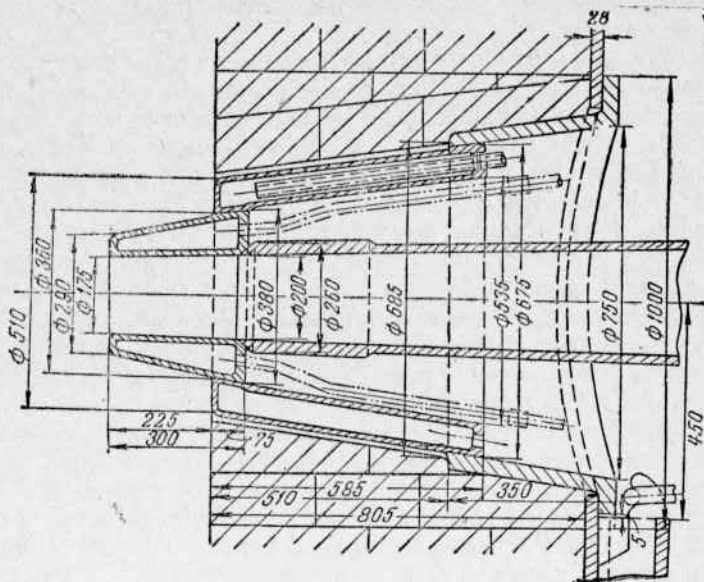
Размеры высова фурм

Таблица 2

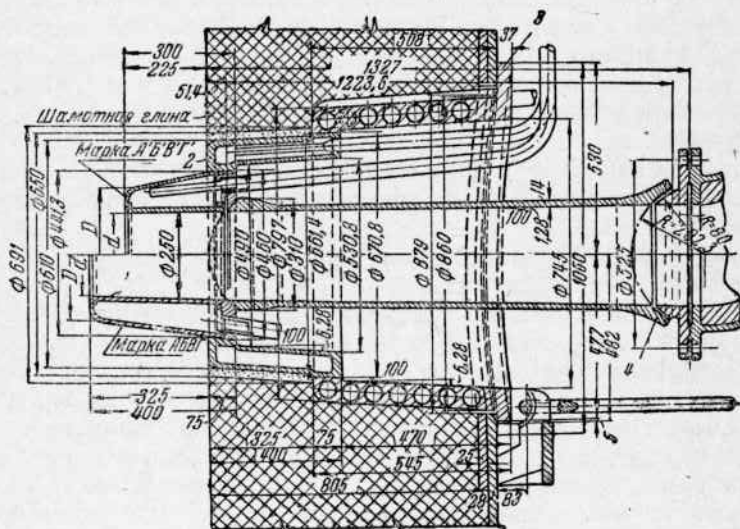
Угол наклона заплечиков	Расход кинетической энергии на фурменный очаг, кгм/сек	Высов фурм, мм
77—80°	до 1000	250
	от 1000 до 2000	225
	свыше 2000	200
80—83°	до 1000	300
	от 1000 до 2000	275
	свыше 2000	250
выше 83°	до 1000	350
	от 1000 до 2000	300
	свыше 2000	275

2. Горение фурм

Поскольку нос фурмы находится в области наиболее высоких температур, условия ее работы являются особо тяжелыми и ответственными. Только наличие



Фиг. 25. Охлаждение фурменного отверстия и ввод дутья (американская конструкция).



Фиг. 26. Охлаждение фурменного отверстия и ввод дутья (конструкция, применяемая в СССР): 1 — фурма; 2 — фурменный холодильник; 3 — амбразура; 4 — сопло.

интенсивного водяного охлаждения обеспечивает устойчивость фурмы и ее продолжительную службу. Срок службы фурм, изготовленных из одного и того же материала, в практических условиях колеблется в весьма широких пределах (от нескольких часов до одного года и больше). Доменная практика чрезвычайно заинтересована в увеличении срока службы фурм, так как это снижает простой

печи и ее эксплуатационные расходы. Широкий диапазон срока службы фурм указывает и на большое многообразие условий их работы. Нормально фурма защищена с поверхности ее, обращенной в печь, гарнисажем, который предохраняет металл стенки фурмы от соприкосновения с расплавленным чугуном, а следовательно, и от прогара.

Только носовая часть фурмы в верхней части трудно удерживает свой гарнисаж, и в этом месте материалы, сходящие в зону фурменного очага, оказывают наиболее сильное изнашивающее действие. Очень редко, но бывают случаи (особенно на древесноугольных печах), когда фурмы выходят из строя вследствие износа их трением материалов. Место износа в этом случае представляет тонкую пленку металла, прогоревшую или, возможно, даже порванную давлением воды.

Обычно фурмы горят сверху или снизу, а иногда и сбоку. Прогары фурм в верхней части происходят от соприкосновения стекающего вниз в виде капель и струек чугуна. Легче всего фурма прогорает, если она не имеет сверху гарнисажа, предохраняющего ее от соприкосновения с чугуном. Гарнисаж на фурме трудно держится при недостаточно интенсивном охлаждении, а также при сильно подвижных шлаках, медленно густеющих при понижении температуры. Такие шлаки при стекании их в горн размывают гарнисаж.

Отклонение фурменного очага в сторону заплечиков может также послужить причиной сползания гарнисажа с фурмы. Причин для отклонения фурменного очага в сторону заплечиков много. Наиболее существенные из них следующие: а) малый высов фурм, б) плохая проницаемость материалов перед фурмами (при горючем низких качеств), в) недостаточность расхода кинетической энергии дутья, г) высокая температура дутья и т. д.

Не все причины, вызывающие горение фурм, можно устранить, ввиду особой трудности и сложности данного явления. Для правильного выбора мероприятий по устранению горения фурм необходимо знать причину, выявление которой требует глубокого изучения хода доменного процесса в нижней части печи.

К мероприятиям, уменьшающим горение фурм сверху, следует отнести:

- а) увеличение интенсивности охлаждения за счет усиленной подачи воды при входе в фурму или за счет увеличения теплопроводности стенок фурмы;
- б) некоторое увеличение вязкости шлаков, если это возможно без затруднения схода материалов;
- в) уменьшение высова фурмы, если это позволяет состояние заплечиков;
- г) улучшение проницаемости материалов путем применения кокса хороших механических качеств;
- д) увеличение расхода кинетической энергии дутья;
- е) снижение температуры дутья.

Нижний прогар фурмы имеет место при всплесках чугуна. Опасность нижнего прогара фурм увеличивается при поднятии уровня чугуна и шлака по направлению к воздушным фурмам. Это поднятие уровня чугуна и шлака в горне может быть по причине загромождения горна или выхода из строя шлаковых леток, что вызывает невозможность спуска шлака между выпусками.

Даже при нормальной работе печи ссыпание материалов в зону фурменных очагов горна может вызывать всплески шлака, а возможно и чугуна. Хотя всплески шлака не могут причинить прогара, но они все же неблагоприятно сказываются на сохранении гарнисажа фурмы, размывая последний снизу и обнажая тело фурмы. Таким образом нельзя допускать в практике поднятия уровня шлака к фурмам, так как это сильно способствует горению фурм снизу. При обнаженном теле фурмы даже небольшие всплески чугуна могут быть причиной прогара фурм.

Горение фурм снизу может быть устранено принятием мер, понижающих уровень чугуна и шлака в горне доменной печи. Особенно часто сокращение объема горна имеет место вследствие выделения графита при плавке ферросилиция или горячих литейных чугунов, а также при замусоривании горна мелочью от работы на горючем низких механических качеств. Если горн заграфичен, то достигнуть увеличения его объема, а следовательно, и снижения уровня чугуна и

шлака можно и нетрудно путем перехода на выплавку переделных высокомарганцевистых чугунов при пониженной температуре дутья, увеличивающей размеры окислительной зоны фурменных очагов. Загромождение горна мелочью горючего, вызывающее горение фурм, может быть ликвидировано только переходом на горючее с хорошими механическими качествами.

Прогары фурм по причине уменьшения теплопроводности их стенок от выделения известковой накипи при жесткой воде могут быть устранены применением для охлаждения фурм отдельного водопровода с водой, очищенной химическим путем.

Для удешевления предназначенную для фурм воду необходимо делать оборотной. При невозможности получить для фурм приемлемую по жесткости воду можно бороться с горением фурм по причине выделения накипи лишь увеличением подачи воды под высоким давлением до 4—6 ат. При упомянутом высоком давлении вода в фурмы пойдет с большой скоростью и в значительном количестве, что будет способствовать интенсивному охлаждению, а следовательно, и уменьшению оседания накипи на стенках фурмы.

Горение фурм нередко является крупнейшей неполадкой в работе доменной печи. Бывают случаи, что количество сгоревших фурм на доменной печи достигает 100—200 штук в месяц, что сопровождается большими простоями печи и громадной затратой труда для их смены.

3. Материал для фурм

В доменной практике в настоящее время применяются для изготовления фурм медь, бронза, железо и алюминий.

Наиболее широкое применение находит медь, что объясняется более высоким сроком службы медных фурм по сравнению с фурмами, изготовленными из других металлов.

Лучшая служба медных фурм является результатом высокой теплопроводности меди по сравнению с другими металлами. По теплопроводности медь уступает только серебру (см. табл. 3).

Таблица 3

Теплопроводность некоторых металлов

Металл	Коэффициент теплопроводности, кал/м ² /°С
Серебро	360
Медь	320
Сплав меди с 0,5% олова	300
» » » 1,0% »	290
» » » 5,0% »	220
» » » 10,0% »	130
» » » 15,0% »	100
» » » 20,0% »	80
» » » 30,0% »	60
Железо	56
Алюминий	175

Примеси к меди сильно снижают ее теплопроводность. Из табл. 3 видно, как влияет на теплопроводность меди примесь олова.

Чтобы сохранить высокую теплопроводность медных отливок, необходимо, чтобы содержание чистой меди в них было не менее 99%.

Весьма неблагоприятно влияют на службу фурмы включения закиси меди, поэтому при прокатке медных листов или при отливке должны быть приняты меры к хорошему раскислению металла.

Бронзовые фурмы нельзя рекомендовать к применению, так как они по теплопроводности стоят много ниже медных.

Железо, как видно из табл. 3, имеет теплопроводность в 6 раз меньше, чем медь. Однако температура плавления железа (1520°) значительно выше температуры плавления меди (1080°), что делает железные фурмы более устойчивыми в отношении сопротивляемости расплавлению чугуном. При повышении давления воды до 4—6 ат ее циркуляция увеличится, а следовательно благодаря этому повысится устойчивость железных фурм.

В практических условиях на любой печи переход с медных фурм на железные без одновременного повышения давления воды всегда связан с уменьшением срока службы фурм и их более частой сменой. Принятие мер в отношении увеличения расхода воды, усиленная циркуляция при переходе на железные фурмы значительно снизит горение фурм.

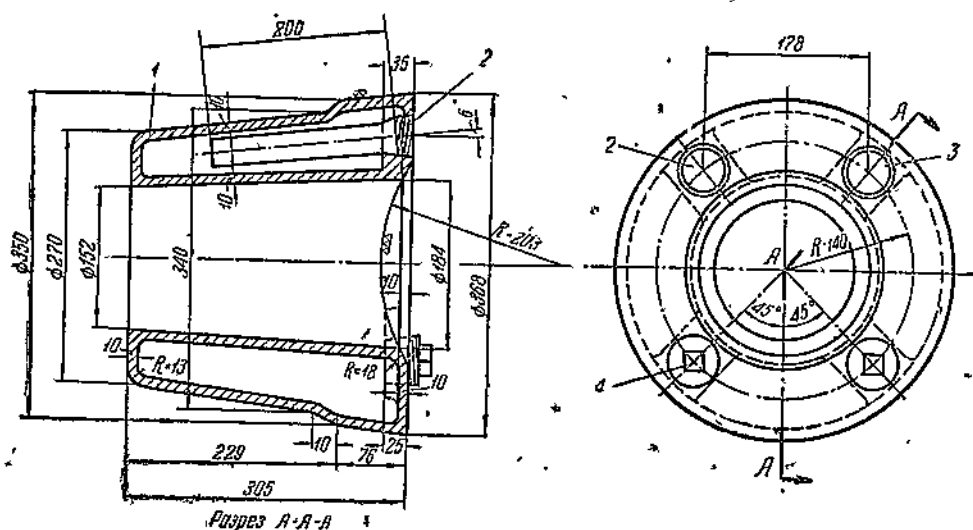
На заводах СССР алюминиевые фурмы применяются редко.

Как материал для изготовления фурм алюминий привлекает к себе внимание благодаря получению на поверхности металла слоя глинозема с высокой температурой плавления 2040° и довольно высокой теплопроводностью стенки $175 \text{ кал/м}^2\text{С}$. Недостатком алюминия является его низкая температура плавления (всего 660°). Нам кажется, что как материал для изготовления фурм алюминий представляет большой интерес и экспериментировать в этом направлении вполне целесообразно и своевременно.

По данным Шигриса [4] применение алюминиевых фурм практиковалось на ряде заводов. На одном из них на алюминиевых фурмах работали несколько лет, и стойкость фурм оказалась на 40% выше медных. Была также отмечена невысокая стоимость изготовления, простота восстановления и ремонта при помощи сварки. Кроме того, алюминиевые фурмы, имея в три раза меньший вес по сравнению с медными, очень практичны при смене. Есть основания полагать, что даже покрытие алюминия железных и медных фурм может оказать благоприятное влияние на их стойкость, если достигнуть получения достаточно прочной пленки глинозема на поверхности фурмы.

4. Конструкции воздушных фурм

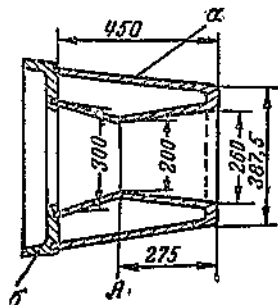
Размеры фурменного очага горна в зависимости от продольного сечения воздушной фурмы влияют на характер факела при выходе воздушной струи из сопла.



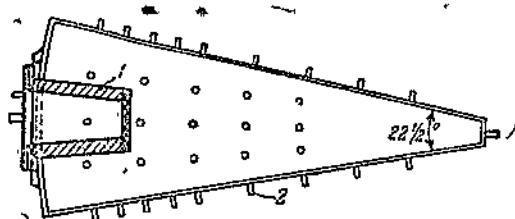
Фиг. 27. "Коническая воздушная" фурма медного литья:
1 — фурма; 2 — подвод воды; 3 — отвод воды; 4 — пробка.

В доменной практике имеет большое распространение коническая форма воздушной фурмы, изображенная на фиг. 27.

Значительное распространение на европейских заводах, где доменные печи имеют умеренный диаметр горна, получила фурма Вентури, изображенная на фиг. 28.



Фиг. 28. Фурма Вентури:
1 — штампованная фурма;
2 — кованный фланец.



Фиг. 29. Ящик для исследования падения давлений перед различными фурмами: 1 — фурма; 2 — отверстие для измерения давлений.

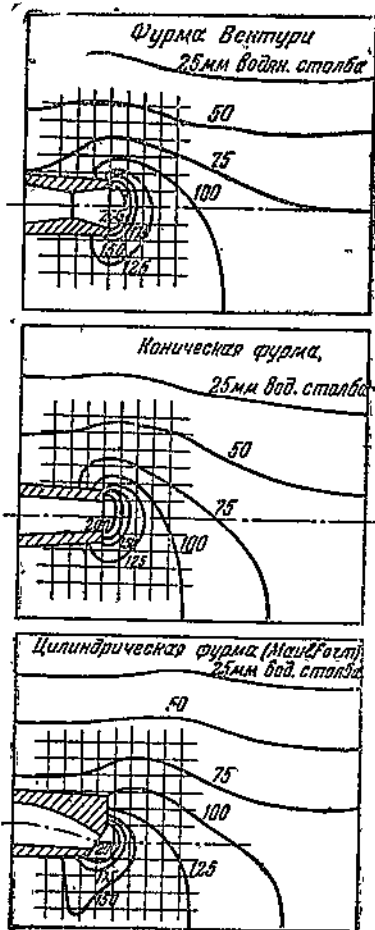
На одном из этих заводов было проведено сравнение подачи дутья коническими фурмами и фурмами Вентури [5]. Все фурменные приборы были снабжены шайбами для измерения количества дутья, а фурмы Вентури были поставлены через одну с коническими таким образом, что конические имели четный, а фурмы Вентури нечетный номер. Диаметр конических фурм был 180 мм. Такой же диаметр в узкой части имели и фурмы Вентури, тогда как в расширенной части они имели диаметр 250 мм.

Наблюдения за измерением количества дутья показали, что в фурмы Вентури идет на 20% больше дутья, чем в конические. К сожалению, в исследовании не проведено сравнение конических и фурм Вентури при одном диаметре выходного их сечения. Есть основания полагать, что упомянутая выше разница была бы меньшей, так как при увеличении диаметра конической фурмы до размера фурмы Вентури значительно уменьшилось бы сопротивление прохождению дутья. По нашему мнению, вести сравнение фурм следует по диаметру выходного отверстия, которое определяет скорость поступления дутья в горн и его кинетическую энергию, определяющую в основном размер и конфигурацию фурменного очага.

В. Барт (W. Barth) провел интересное изучение приема дутья различными фурмами путем измерения давлений перед фурмой в особом ящике, изображенном на фиг. 29.

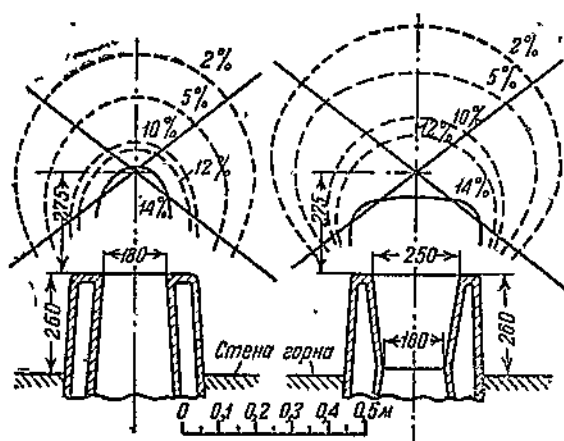
Из результатов наблюдений, приведенных на фиг. 30, можно видеть, что соответственные кривые равных давлений у фурм Вентури более удалены от носа фурмы, что указывает на большие размеры фурменного очага. Наибольшие размеры фурменного очага, по исследованию на модели, дает фурма цилиндрической формы с повернутым вниз выходным отверстием.

Размеры фурменного очага перед фурмами Вентури и конической приведены на фиг. 31 и их сравнение позволяет сделать

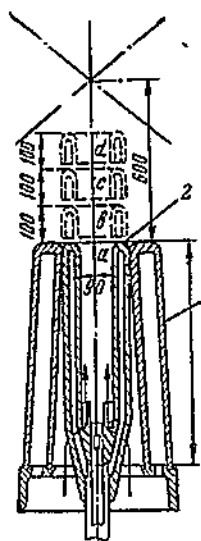


Фиг. 30. Кривые равных давлений для различных типов воздушных фурм (исследовано на моделях).

очага фурмы Вентури. Однако и здесь скорость и кинетическая энергия дутья не были одинаковыми для обоих типов фурм, поэтому на основе данных материалов, нельзя сделать окончательное заключение до выделения при исследовании влияния только сечения фурмы. Фурма Вентури должна приблизить фурменный очаг к стенкам печи, увеличивая при этом его объем, что важно для схода материала. Применение фурм Вентури несомненно должно значительно улучшить работу печи, однако при широких горнах и бутылкообразном профиле доменной печи применение ее повлечет за собой нежелательное увеличение периферийного хода горновых газов и связанный с этим повышенный износ стенок заплечиков и шахты, а может быть и некоторое снижение экономичности доменной плавки. Неблагоприятное действие фурм Вентури в отношении увеличения



Фиг. 31. Содержание углекислоты перед фурмами Вентури и конической, выявленное исследованием.



Фиг. 32. Передвижная воздушная фурма: 1 — фурма; 2 — подвижная вставка.

износа заплечиков частично можно устранить увеличением высова фурм. Для изменения высова фурм находит применение передвижная фурма, изображенная на фиг. 32; однако применение ее рекомендовать для постоянной работы нельзя из-за неудобств в обслуживании.

Полностью можно устранить неблагоприятное влияние фурмы Вентури применением овального выхода струи дутья.

Во избежание указанных недостатков нами предложена фурма, изображенная на фиг. 33. Коническое сечение фурмы в вертикальной плоскости обеспечивает большую длину фурменного очага по направлению к оси доменной печи; в горизонтальной плоскости, благодаря растробу, фурменный очаг получает расширение в стороны между фурменными пространствами, что весьма благоприятно сказывается на сходе материалов в доменной печи, особенно при широких горнах.

Таким образом предлагаемая нами конструкция фурмы дает следующие преимущества:

- а) расширение фурменного очага в горизонтальной плоскости;
- б) улучшение схода материалов, благодаря увеличению поперечного сечения фурменных очагов и увеличение их объема;
- в) возможность увеличения температуры дутья при широких горнах доменных печей, когда размер фурменного очага является препятствием к поднятию упомянутой температуры дутья;

г) уменьшение выплывания вследствие более ровного схода материалов. Увеличение температуры дутья и улучшение схода материалов приведет к росту производительности и снижению себестоимости плавки.

На доменной печи № 1 Новолипецкого завода [6] был проведен, по нашему мнению, неудачный эксперимент с фурмами, имеющими направление выходного отверстия вниз и названными косыми фурмами. На фиг. 34 приведена косая фурма Новолипецкого завода. Эта фурма по конструкции несколько напоминает фурму Барта. Применение косых фурм по свидетельству инж. Л. М. Цылева привело к значительному снижению сгорания их (со 159 до 18 фурм в месяц).

Трудно считать, что такое большое снижение горения фурм имело место в результате применения конструкции косых фурм. Вероятно, ряд других изменений в работе печи, возможно не отмеченных автором, также способствовал уменьшению горения фурм.

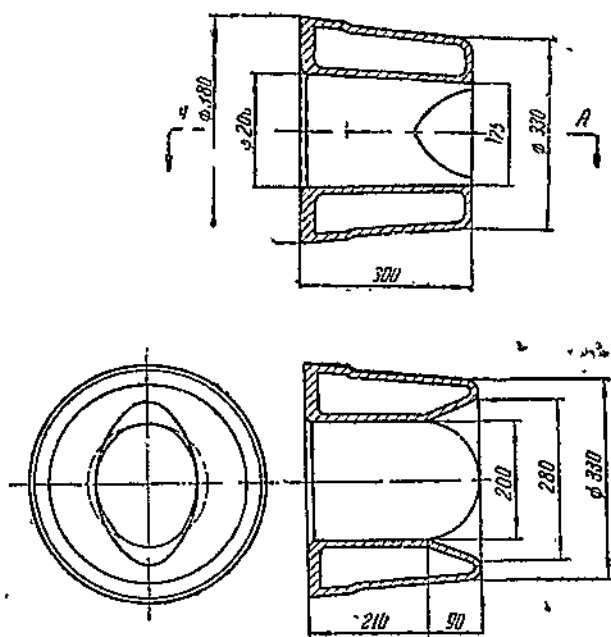
Фурменный очаг косых фурм имел значительные размеры. Его кислородная зона простиралась на 1,1—1,3 м, а углекислотная — на 1,4—1,6 м вглубь горна, что указывает на благоприятное влияние такой конструкции фурм на увеличение размеров фурменных очагов, а следовательно, и на улучшение схода материалов.

Небольшое содержание (40%) окиси углерода в центральной части горна свидетельствовало о хорошей подготовке материалов перед приходом в горн, что является показателем хорошего контакта газов со столбом шихты.

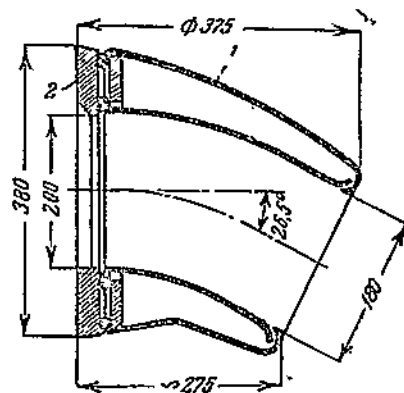
Крупнейшим недостатком косых фурм является направление фурменного очага вниз, что крайне неблагоприятно влияет на службу стенок горна, приближая к ним зону высоких температур.

При косых фурмах несомненно надо ждать повышенного износа стенок горна, а в связи с этим сокращения кампании печи и опасности прорывов чугуна. По этой причине косые фурмы нельзя рекомендовать к широкому распространению, несмотря на то, что горение фурм при такой конструкции должно наблюдаться меньше, так как струя воздушного дутья, направленная вниз, мешает всплескам ванны жидкого чугуна достигнуть носа фурмы.

Однако в специфических условиях (при загромождении горна коксовым мусором, при похолодании горна в результате тех или других неполадок) применение косых фурм желательно, как временная мера.



Фиг. 33. Фурма по предложению автора.



Фиг. 34. Косая фурма Новолипецкого завода: 1 — фурма медная сварная; 2 — фланец железный кованый.

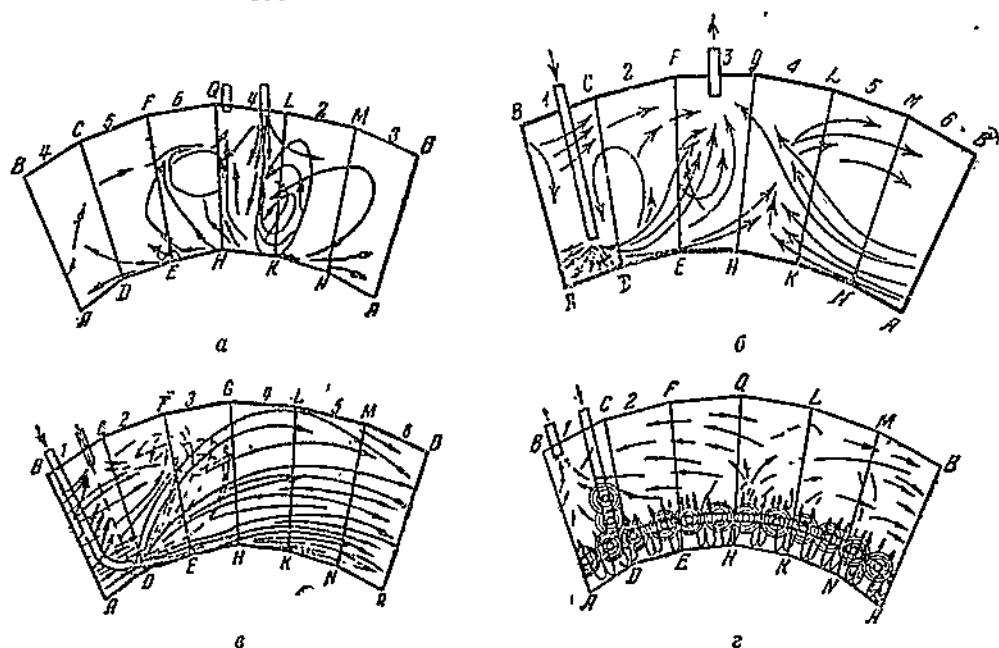
Инж. З. М. Некрасов [7] в Днепропетровском институте металлов провел весьма интересное исследование циркуляции воды на стеклянных моделях фурм, снабженных различными подводами воды.

На фиг. 35, а приведена развертка фурмы с подводом и отводом воды сверху под углом в 60° друг к другу.

У носа фурмы, т. е. там, где встречается большая необходимость в усилении охлаждения, имеет место замедленная циркуляция воды.

Увеличение угла между подводящей и отводящей трубками до 120° и удлинение подводящей трубки до носа фурмы сильно улучшило циркуляцию (фиг. 35, б).

Усиление циркуляции в носовой части фурмы необходимо для улучшения охлаждения стенок фурмы в этом месте.



Фиг. 35. Циркуляция воды в фурмах: а — с подводом и отводом ее сверху, под углом 60° ; б — с подводом и отводом ее под углом 120° ; в — с тангенциальным подводом (—→ струи, идущие в верхних слоях; — — — струи с малой скоростью; — — — струи, идущие в нижних слоях); г — с кольцевой распределительной трубкой.

Как совершенно правильно отмечает инж. З. М. Некрасов, недостатком такого подвода является захват отработанной тепловой воды начальной струей, вследствие эжекции, и ее повторная циркуляция. В то же время значительная часть холодной воды уходит, не проделав полезной работы по охлаждению стенок фурмы, особенно носовой ее части.

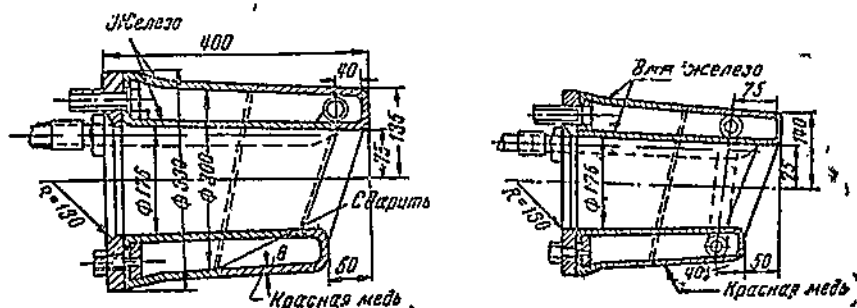
Циркуляция воды в фурме с тангенциальным подводом в носовую часть (фиг. 35, в), значительно лучше циркуляции в фурме с подводом в носовую часть под углом в 120° к отводящей трубке (фиг. 35, б). В этом случае главный поток воды хорошо омывает стенку фурмы в носовой части и, делая полный оборот на 360° , приводит к хорошему использованию охлаждающей способности воды.

Циркуляция в фурме при подводе питательной воды распределительной кольцевой трубкой с отверстиями, расположенными в шахматном порядке и направленными перпендикулярно к носу фурмы и наружной стенке, приведена на фиг. 35, г. Характер циркуляции при этом имеет ряд концентрических круговых потоков в носовой части фурмы, после чего вода идет по направлению к отверстию отводящей трубки.

На основании изучения циркуляции воды в воздушных фурмах З. М. Некрасовым предложена конструкция фурмы со срезанной снизу носовой

частью. Изображенные на фиг. 36 фурмы со срезанной носовой частью применялись в европейской практике, но большого распространения не получили ввиду влияния на усиление износа кладки стенок горна, а поэтому recommendовать их при нормальной работе доменной печи нельзя.

Что же касается устройства для улучшения циркуляции, предложенного инж. З. М. Некрасовым, в фурме, изображенной на фиг. 36 и состоящего из

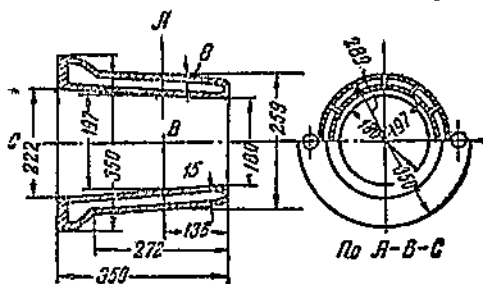


Фиг. 36. Фурмы: слева — с тангенциальным подводом и водоразделительной стенкой; справа — с кольцевой распределительной трубой.

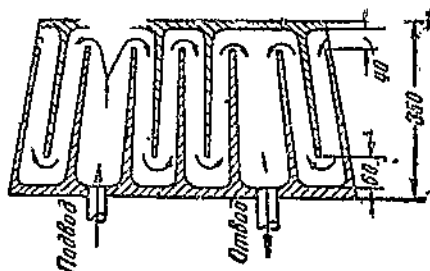
изогнутой по окружности тангенциально направленной трубки и водоразделительной стенки, то оно заслуживает внимания и проверки в практических условиях.

Устройство для улучшения циркуляции (фиг. 36, справа), состоящее из кольцевой распределительной трубки, по нашему мнению, менее удачно, при чистой воде, не выделяющей накипи.

Конструкция фурмы, предложенная инж. Л. Одинцовым (фиг. 37), представляет собой коробку, разделенную перегородками. Вода поступает сверху в носовую часть фурмы, разделяется на два потока и направляемая перегородками, после циркуляции, удаляется снизу. Улучшение циркуляции дает основание рассчитывать на успешную работу фурмы с перегородками при чистой воде.



На фиг. 38 представлена фурма с улучшенной циркуляцией, предложенная Даусоном [8]. Фурма разделена стенкой на две камеры. Вода подводится в носовую камеру и, пройдя через нее, поступает, направляемая отрагательной стенкой, в основную полость фурмы, а оттуда в отводящую трубку. Таким образом циркуляция, предусмотренная в фуре Даусона, считается хорошей. Несмотря на изготовление внутренней стенки вертикальных выступов, отгибаемых в песке.

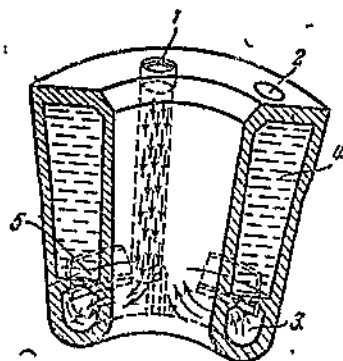


Фиг. 37. Фурма с перегородками.

На заводах СССР воздушные фурмы чаще всего изготавливаются из листовой меди. Наиболее распространен тип воздушной фурмы Сталинского завода, изображенный на фиг. 39. Корпус фурмы состоит из двух частей, соединенных между собой в носовой части с отбортовкой внутреннего конуса. Листовая медь берется

толщиной 5 мм. Подводящая и отводящая трубки, а также отбортованные внутренний и наружный конусы фурмы закрепляются в двух соединенных вместе болтами железных фланцах.

Недостаток фурмы Сталинского завода заключается в шве носовой части фурмы. Неудовлетворительная сварка этого шва нередко приводит к преждевременному прогоранию фурмы.

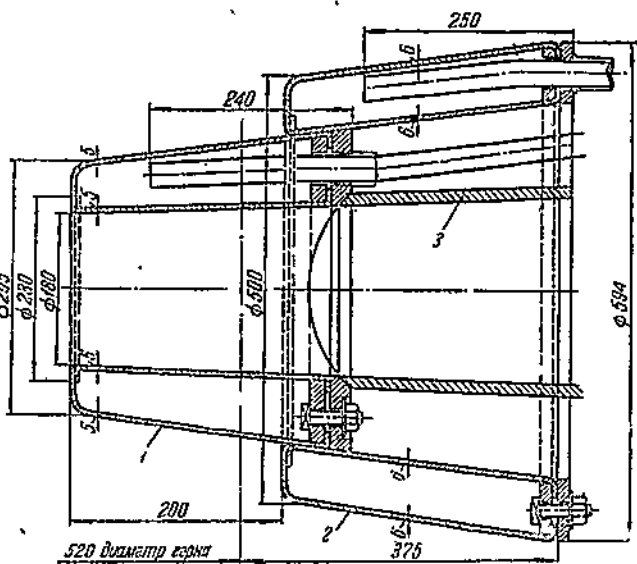


Фиг. 38. Фурма прямоточного типа: 1 — подвод воды в нижнюю камеру; 2 — отверстие для промывки; 3 — носовая камера фурмы; 4 — наружная камера фурмы; 5 — сегмент.

шые фурмы, вследствие чего потребность завода в меди значительно уменьшается. Толщина стенки литой фурмы делается около 10 мм, поэтому медные литые фурмы несколько тяжелее фурм, изготовленных из листовой меди.

При хорошем качестве отливки срок службы медных литых фурм выше сварных или штампованных из листовой меди.

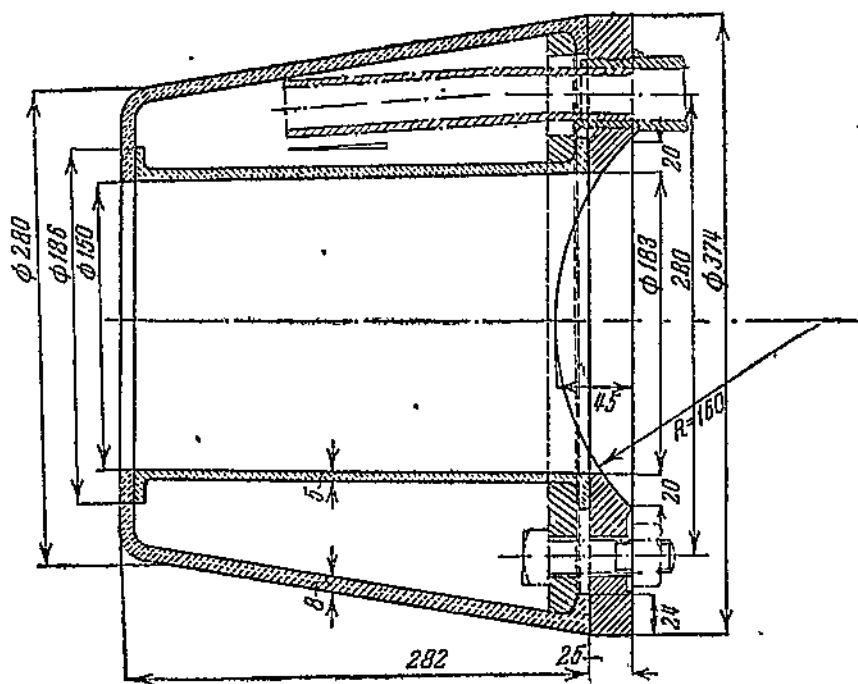
Значительное увеличение срока службы достигается применением фурмы с утолщенной носовой частью, изображенной на фиг. 42. Такие фурмы изготавливаются медными литыми и находят широкое применение на американских заводах. При хорошей теплопроводности меди утолщение носовой части не оказывает заметного влияния на интенсивность охлаждения, но вместе с тем значительно улучшает сопротивляемость распылению жидким чугуном и износу от трения материала. Такую конструкцию фурм следует рекомендовать к широкому применению на заводах СССР. Единственным недостатком этой конструкции является повышенный вес фурмы, что усложняет ее смену, но, учитывая продолжительность срока службы фурмы, затраты ручного труда на смену будут много меньше.



Фиг. 39. Воздушная фурма Сталинского завода: 1 — фурма; 2 — фурменный холодильник; 3 — сопло.

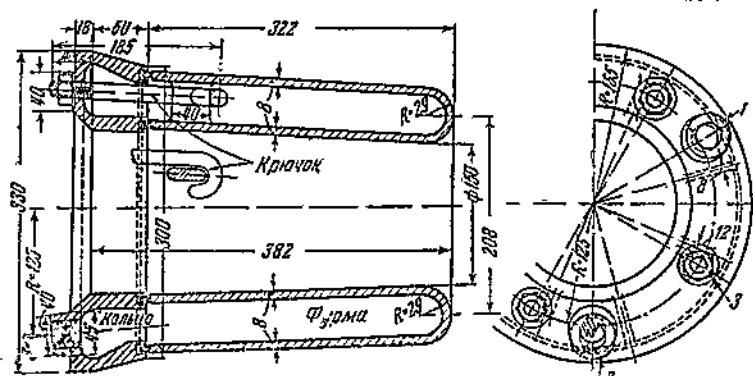
Довольно широкое распространение на американских заводах имеют фурмы с заполнением носовой части огнеупорным материалом (фиг. 43 и 44). Для удержания огнеупорного материала фурма Битона имеет выступы, а фурмы Битон — Лидбеттер — перегородки.

Огнеупорная набивка носовой части хорошо защищает фурму от прогорания при попадании чугуна. Находясь в зоне высоких температур, носовая часть



Фиг. 40. Воздушная фурма завода им. Дзержинского:
1 — подвод воды; 2 — отвод воды; 3 — пробка для промывки.

фурмы постепенно изнашивается, но все же срок службы ее по американским данным превышает на 30—50% срок службы обыкновенных фурм. В качестве



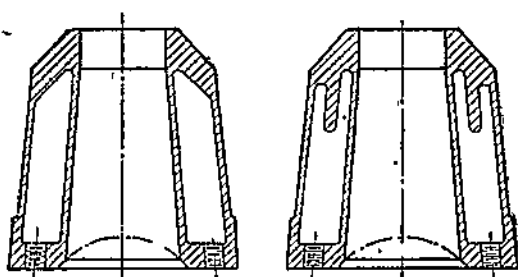
Фиг. 41. Кованая медная фурма завода им. Петровского.

набойки можно применить хромистую смесь на высокотемпературном цементе, высокоглинозистые материалы с 60—70% глинозема, а также углеродистую набойку. Выгорание углеродистой набойки происходит медленно, потому что она окружена с боков отливкой, а с носовой части покрыта гарнисажем из шлака.

Применение фурм с огнеупорной набойкой в носовой части следует рекомендовать к широкому распространению на наших заводах.

Значительное распространение на американских заводах получили фурмы известного американского доменного техника Хейвена. Фурмы Хейвена — двухкамерные с самостоятельной циркуляцией воды в каждой из них.

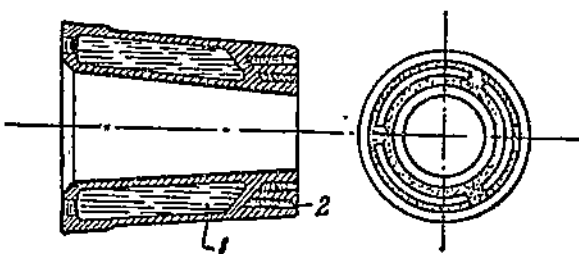
На фиг. 45 представлена фурма Хейвена, преимущество которой заключается в том, что она не требует при прогаре носовой части немедленной смены.



Фиг. 42. Фурмы с утолщенной носовой частью.

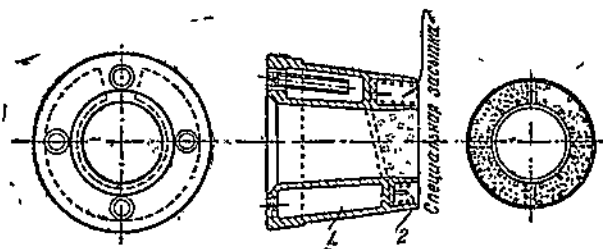
Смена фурмы может быть осуществлена в любое удобное для этого время, не дожидаясь прогорания второй части ее. По желанию фурма может быть оставлена в работе в укороченном виде до полного прогорания. После прогорания носовой части и выключения воды в прогоревшую часть попадает шлак, перемешанный с мелким горючим, что предохраняет второе отделение фурмы от воздействия стекающих струек чугуна или его всплесков. Материалы, попадающие в носовую часть после ее сгорания, держатся там довольно прочно, благодаря охлаждению со стороны оставшейся камеры фурмы. Самостоятельный подвод воды в носовую часть значительно улучшает циркуляцию и охлаждение этой важнейшей части фурмы.

По американским данным срок службы фурм Хейвена больше на 60—100% обыкновенных. Применение фурмы Хейвена на заводах СССР будет иметь немаловажное значение. Трудности отливки довольно сложной конфигурации фурмы Хейвена могут быть легко преодолены, но нам кажется, что разделение фурмы на две совершенно отдельные друг от друга камеры могло бы упростить отливку, а также подвод воды.



Фиг. 43. Фурма Битон — Лидбеттер 1 — охлаждаемая камера; 2 — носовая часть с набивкой.

Такое конструктивное оформление фурмы Хейвена легко выполнить, если предусмотреть в верхней стенке отливки выемки для вывода труб из носовой части. Эти выводимые трубы могут быть легко герметизированы пайкой, а в случае прогорания носовой части фурмы могут быть залиты жидким цементом и закрыты глухими крышками, что устранил возможность продувания. Надо полагать, что предлагаемые конструктивные улучшения сделают фурму Хейвена более стойкой и легко изготовляемой в любой меднолитейной мастерской. Такое усовершенствование фурмы Хейвена выполнено под руководством автора студентом И. Морозовым и изображено на фиг. 46.



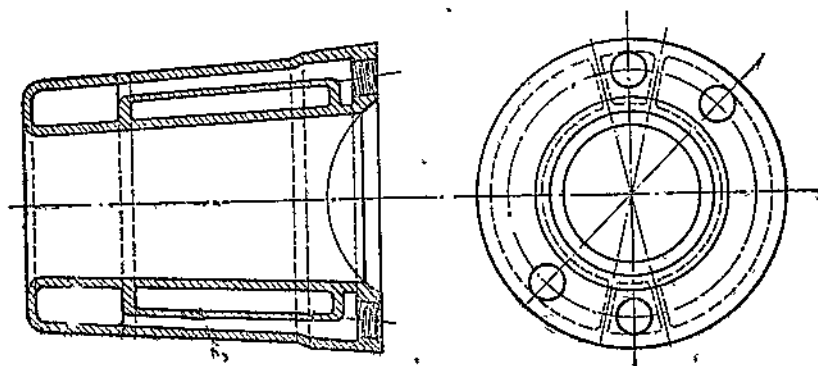
Фиг. 44. Фурма Битона: 1 — охлаждаемая камера; 2 — носовая часть с набивкой.

Фурменные холодильники являются также ответственной частью устройства для охлаждения фурменного отверстия. Прогорание фурменного холодильника требует его смены, связанной с большим простоем доменной печи, иногда достигающим до 2—3 час., поэтому на продолжительную службу последнего следует

5. Фурменные холодильники

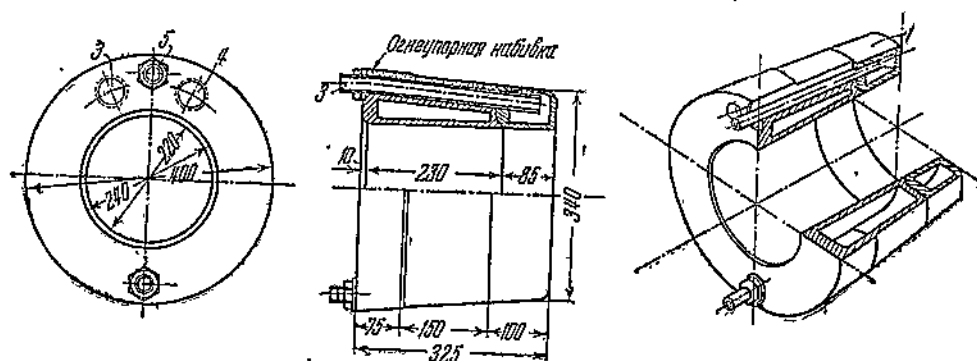
Фурменные холодильники являются также ответственной частью устройства для охлаждения фурменного отверстия. Прогорание фурменного холодильника требует его смены, связанной с большим простоем доменной печи, иногда достигающим до 2—3 час., поэтому на продолжительную службу последнего следует

обращать серьезное внимание. В качестве материала для отливки фурменных холодильников, как и для отливки фурм, рекомендуется чистая медь.



Фиг. 45. Фурма Хейвена: 1 — носовая охлаждаемая камера; 2 — наружная охлаждаемая камера.

Возможно применение железных сварных и алюминиевых литых фурменных холодильников. Сварные железные холодильники должны изготавливаться со

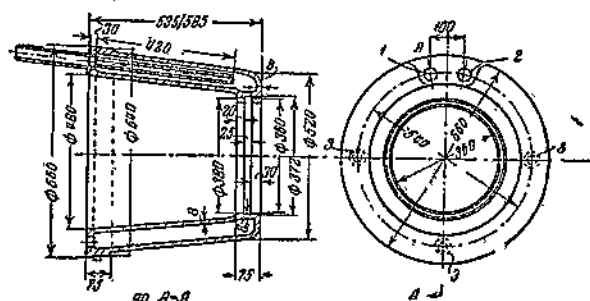


Фиг. 46. Фурма, разработанная инж. Морозовым: 1 — носовая охлаждаемая камера; 2 — наружная охлаждаемая камера; 3 — подвод воды; 4 — отвод воды; 5 — отверстия для промывки.

штампованной передней частью с таким расчетом, чтобы шов был удален от передней кромки на 80—100 мм. Так как холодильники ставятся заподлицо к кладке, то передняя их часть легко покрывается гарнисажем, который защищает их от струек и всплесков чугуна. Прогорание фурменных холодильников возможно только при сползании гарнисажа на довольно длительное время.

Умелой работой можно предотвратить сползание гарнисажа. Его быстрое возобновление возможно при временном переходе на работу на основных шлаках. Весьма часто фурменные холодильники выдерживают полную кампанию печи, и их преждевременное горение указывает на неравномерный температурный или шлаковый режим доменной печи.

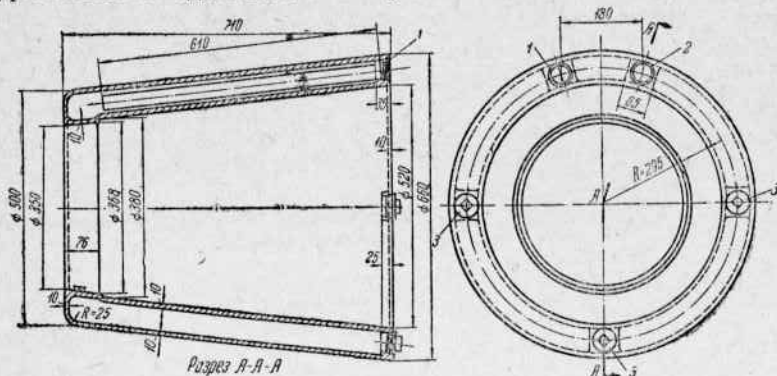
При тройной системе охлаждения фурменного отверстия холодильник можно сделать короче, что делает его наиболее легким и удобным для смены. Такой



Фиг. 47. Фурменный холодильник: 1 — подвод воды; 2 — отвод воды; 3 — отверстия для промывки.

холодильник показан на фиг. 47. Толщина стенки холодильника делается 8 мм. Пояс для установки фурмы и наружный пояс в месте установки холодильника в амбразуру шириной 75 мм обработаны для герметичности на конус.

В американской практике смена фурменных холодильников настолько редкое явление, что их не боятся делать большой длины и большого веса. Такой длинный холодильник приведен на фиг. 48. Он позволяет обойтись амбразурой без охлаждения, что упрощает общую систему охлаждения. Для более удобной выемки фурменных холодильников им придается коническая форма. Чем больше



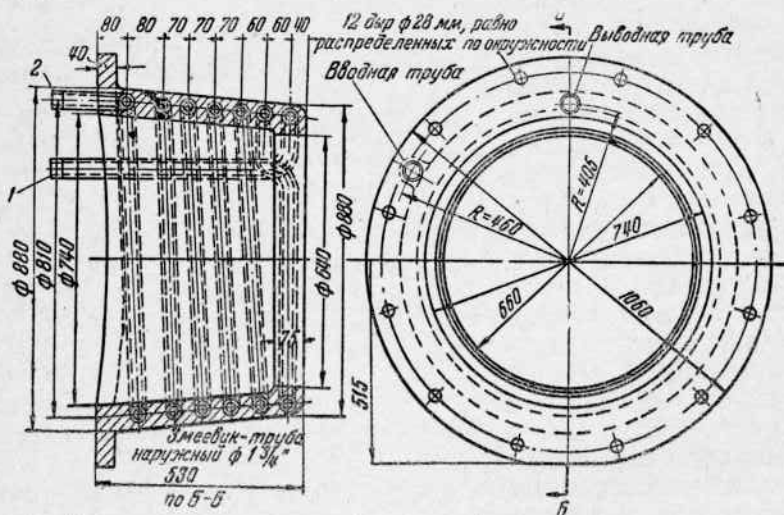
Фиг. 48. Фурменный холодильник американского типа: 1 — подвод воды; 2 — отвод воды; 3 — отверстия для промывки.

конусность, тем легче смена фурменного холодильника. Однако конусность сопряжена со значительным увеличением поперечных размеров.

Необходимо также отметить назревшую необходимость облегчения труда при смене фурменных холодильников, что значительно снизит простои доменных печей по указанной причине. Кроме подвесных талей, в практических условиях никакая механизация не применяется. Весьма желательно и вполне возможно применение пневматических цилиндров переносного типа для выбивки фурменных холодильников при смене.

6. Амбразура

На большинстве современных доменных печей амбатура делается чугуной литой с внутренним охлаждением при помощи змеевика из мягкой, цельнотяну-

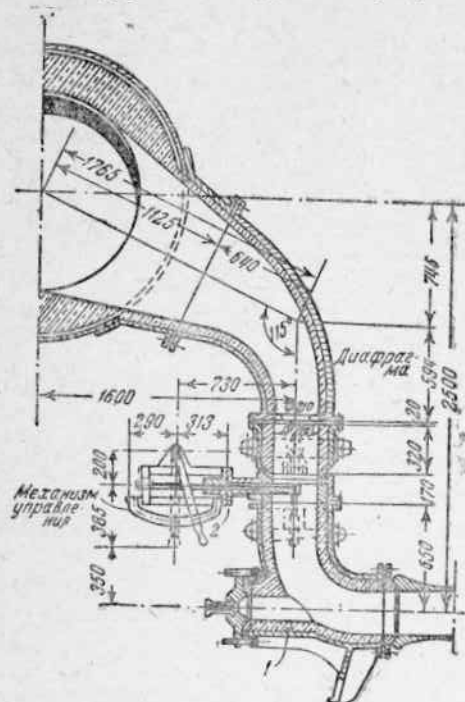


Фиг. 49. Охлаждаемая чугунная амбатура: 1 — подвод воды; 2 — отвод воды.

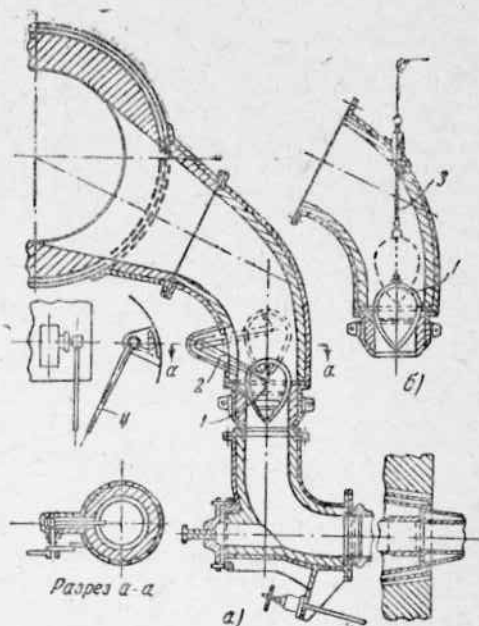
той, толстостенной трубки. На фиг. 49 представлено типичное устройство амбатуры с внутренним охлаждением. Успешность службы чугунной охлаждаемой

Современное состояние техники измерения вполне позволяет без больших затрат снабдить каждую фурму измерительной шайбой и иметь для 6—8 фурм общий воздухомер, при помощи которого можно осуществить постоянный контроль за количеством дутья, поступающего в отдельные фурмы.

Вопрос регулирования дутья по фурмам привлекает к себе пристальное внимание доменных техников. Проф. А. Н. Похвисневым с сотрудниками предложен фурменный рукав с устройством для регулирования количества дутья



Фиг. 52. Устройство для измерения и регулирования дутья, предложенное проф. Похвисневым: 1 — колено; 2 — задвижка.



Фиг. 53. Фурменный рукав с обтекаемым клапаном системы Б. А. Бриллиантова: а — разрез рукава; б — второй вариант передвижения клапана (1 — обтекаемый клапан; 2 — рычаг; 3 — шток; 4 — ручка).

по фурмам, изображенный на фиг. 52. Предусмотренная на рукаве задвижка, перекрывающая сечение рукава до 50%, вполне обеспечивает регулирование дутья по фурмам. Измерение количества дутья производится измерительной шайбой и воздухомером. Нам кажется, что вполне своевременно применить на заводах СССР регулирование дутья по отдельным фурмам.

Доц. Б. А. Бриллиантовым предложен фурменный рукав (фиг. 53), снабженный обтекаемым клапаном для регулирования дутья по фурмам. Применение такого клапана можно считать целесообразным, хотя каких-либо преимуществ перед задвижкой он не имеет. Потеря дутья при таком клапане будет минимальной, а закрывание его явится весьма легкой операцией. Перед обтекаемым клапаном в верхней части рукава необходимо предусмотреть измерительную шайбу, для чего центральную часть его следует удлинить по сравнению с показанным на чертеже размером.

§ 7. Устройства для вдувания твердых и жидких материалов через фурмы в горн доменной печи

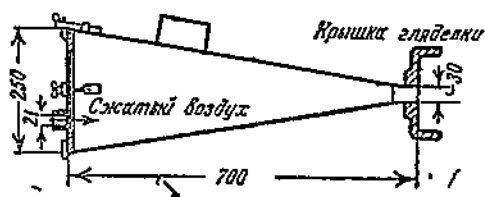
При расстроенном ходе доменной печи считается весьма желательным введение в горн материалов, способных оказать благоприятное влияние на его работу.

При местном похолодании горна важное значение приобретает введение ферро-

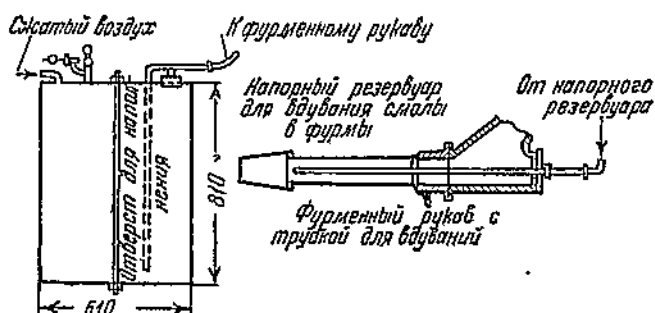
силиция, нефти или смолы. Получение вязких шлаков, ввиду ошибочной шихтовки или по другим причинам, может быть устранено введением плавикового шпата, дробленой калийной соли, нефелина, миаскита, песка, извести или других материалов, в зависимости от характера увеличения этой вязкости. Разжижение шлака сильно улучшает дренаж жидких материалов из зоны фурменного очага в нижний горн.

Вдувание небольших количеств материалов в горн через фурму производится при помощи устройства (фиг. 54), состоящего из железного конического резервуара, в который помещаются твердые материалы. Узким патрубком конический резервуар вставляется в отверстие гляделки, после чего включается дутье, подводимое гибким шлангом к крышке под давлением 4—5 ат и материал вдувается в горн.

Для вдувания жидкостей (нефть, смола) служит устройство, изображенное



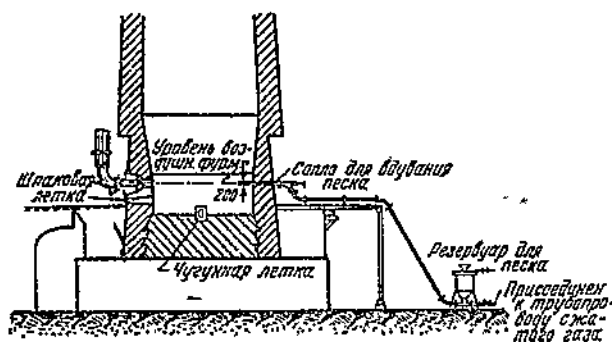
Фиг. 54. Устройство для вдувания в горн через фурмы твердых материалов.



Фиг. 55. Устройство для вдувания в горн жидких материалов.

на фиг. 55. Жидкость, поступившая в резервуар, подается к фурменному рукаву по трубке посредством сжатого воздуха. Трубка вводится в фурменный рукав через гляделку и по длине делается с таким расчетом, чтобы конец ее достигал фурмы.

Для ввода в горн большого количества твердых материалов служит устройство, изображенное на фиг. 56 и состоящее из пескоструйного аппарата, работающего на сжатом до 5—6 ат колошниковом газе. Подвод осуществляется несколько ниже оси воздушных фурм при помощи сопла с охлаждением. Таким устройством можно пользоваться для введения в горн доменной печи песка, плавикового шпата, нефелина и других материалов для изменения консистенции шлака.



Фиг. 56. Вдувание песка в горн.

§ 8. Устройство фурменного прибора, не требующего останова доменной печи для смены фурм

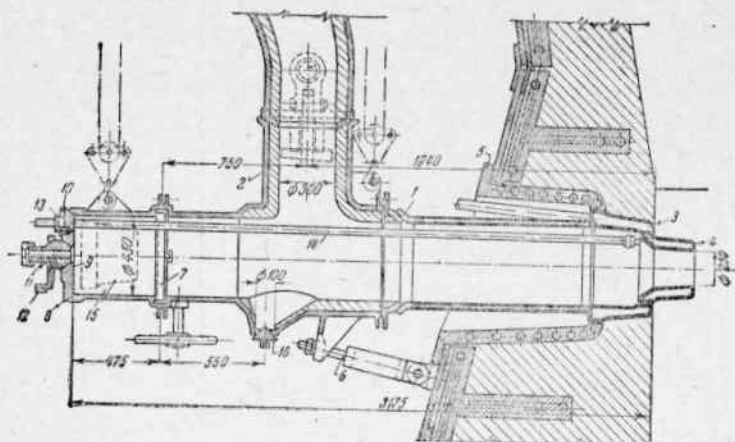
Простои доменных печей для смены фурм весьма велики. Только на двух заводах (Магнитогорском и Кузнецком) эти простои составляют ежегодно около

2000—3000 пече-часов, что равноценно потере около 120 000 т чугуна в год. В довоенное время, в масштабе СССР, потери чугуна по вине остановов печей для смены фурм достигали 600 000 т, что равнялось производительности крупного завода.

Кроме потери чугуна от простоев, смена фурм является весьма тяжелым ручным трудом, связанным с последствиями травматизма от брызг, пламени и газа.

Из всего изложенного видно, что вопрос смены фурм без останова печей является весьма актуальным для доменной практики.

К сожалению, все существующие конструкции фурменных рукавов допускают смену фурм лишь во время останова доменной печи, что ведет к большим простоям последних и нарушению газового баланса завода.



Фиг. 57. Фурменный рукав системы автора (разрез).

Предлагаемый нами фурменный рукав [9] позволяет производить смену фурм на ходу доменной печи. Конструкция фурменного рукава приведена на фиг. 57 и состоит из сопла 1, прижимаемого фурменным коленом 2 к фурменному холодильнику 3, в который вставляется фурма 4 той или иной конструкции, но желательно с плавным переходом от сечения фурменного холодильника. Фурменный холодильник, как обычно, помещается в амбразуру 5, а подтягивание сопла осуществляется при помощи обычного натяжного устройства 6.

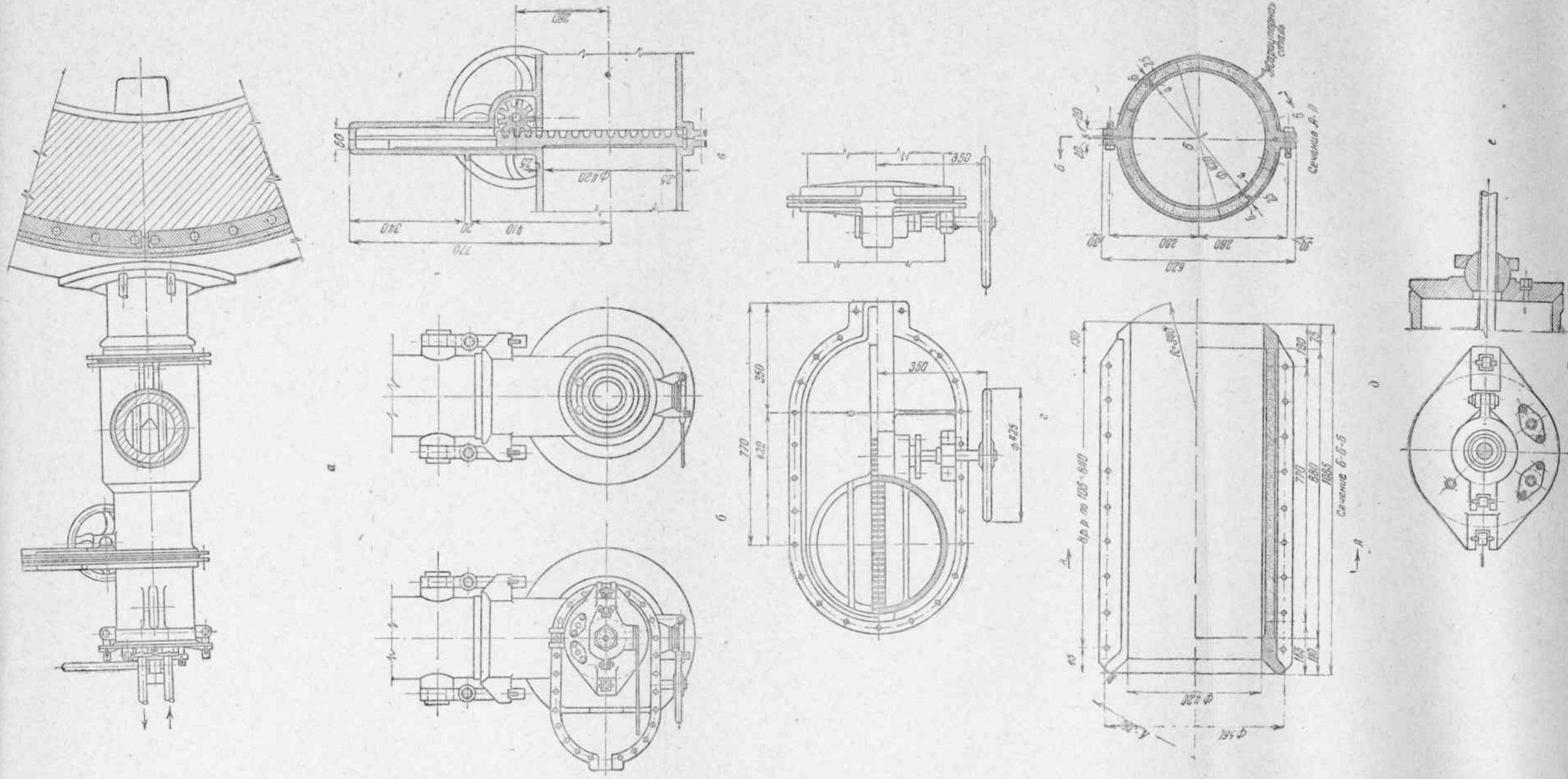
Патрубок гляделки фурменного колена снабжается задвижкой 7, служащей для обеспечения герметичности при смене фурмы, и имеет дверку 8, закрывающую патрубок. Дверка 8 имеет отверстие 9 и два отверстия 10. Отверстие 9 предназначается для наблюдения за горением прочистки фурм, а также для введения штанги приспособления для выбивки фурм и может закрываться шаром 11 и крышкой 12 или другими известными и применяемыми в доменной практике устройствами. Отверстия 10 служат для вывода трубок водяного охлаждения фурмы и уплотняются сальниками 13, в которых закрепляются фурменные трубки 14, причем не исключается возможность применения для этой цели и другой конструкции. Детали фурменного рукава системы автора приведены на фиг. 58, а, б, в, г, д, е.

Смена сгоревшей фурмы изображена на схеме фиг. 59 и производится следующим образом (фиг. 57):

а) открывается крышка с шаром 11 (фиг. 57) и в рукав вводится штанга с крюком для выбивки фурм (фиг. 60), причем для обеспечения герметичности на штанге надет шар, равный по диаметру шару 11, который закрывает отверстие 9 на момент выбивки фурмы;

б) после того как фурма будет сдвинута с места, штанга приспособления для выбивки вынимается и крышка 12 с шаром 11 закрывается;

в) фурма выдвигается в положение 15, изображенное пунктиром;



Фиг. 58. Детали фурменного рукава системы автора: а — план рукава; б — вид со стороны гляделки; в — задняя (разрез); г — задняя (общий вид); д — сопло из двух половин; е — гляделка.

г) задвижка 7 закрывается;
 д) открывается дверка 8 и сгоревшая фурма извлекается наружу;
 е) присоединяется новая фурма и дверка 8 закрывается, причем новая фурма занимает положение 15;

ж) задвижка открывается;

з) новая фурма вдвигается в холодильник 3, занимая свое нормальное положение.

Во время передвижения трубок уплотнение их ослабляется. Для облегчения открывания задвижки применяется обводная трубка с вентилем.

Преимущества предлагаемого фурменного прибора, не требующего останова печи для смены фурм по сравнению с существующими, сводятся к следующему: полностью сокращаются простои доменных печей из-за смены фурм; устраняются нарушения технологического процесса доменной плавки; исключаются нарушения газового баланса завода; создаются благоприятные и вполне безопасные условия труда рабочих при смене фурм; выпуск шлака при заливке фурм удобно и безопасно производится через отверстие 16.

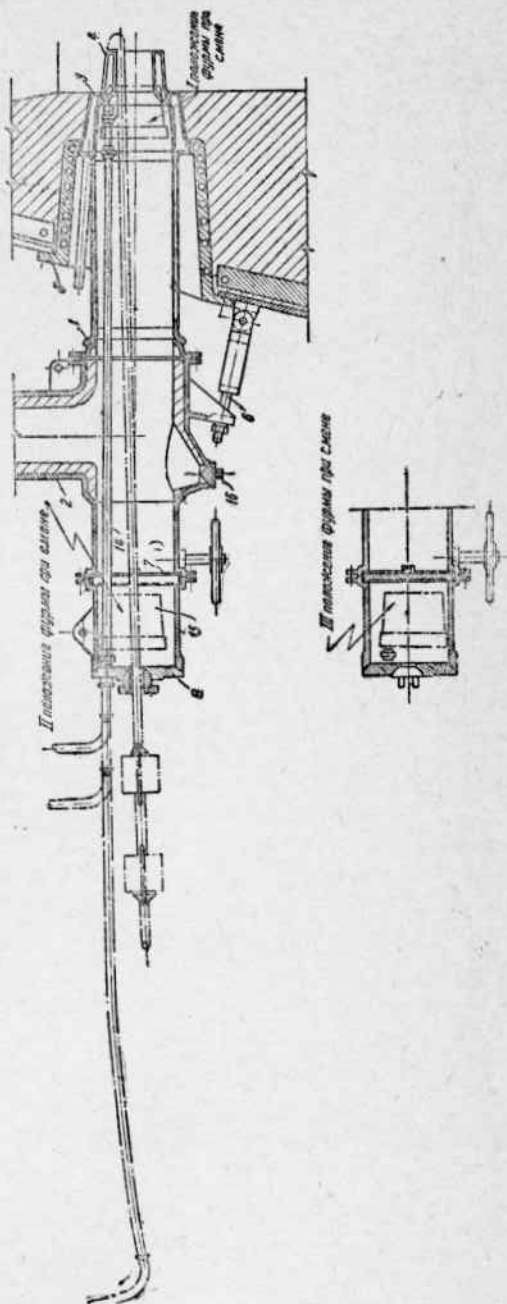
Предлагаемый фурменный прибор не требует устройства других приспособлений для перекрытия горячего дутья и обеспечивает непрерывность его подачи в доменную печь при смене фурм.

Попадание воды в печь исключается, так как фланцевых соединений трубок в фурменном приборе нет, а место присоединения трубок к фурме запаивается.

Надо полагать также, что и увеличение потерь дутья не будет иметь места. Сальники и коробку шибера не составляет труда сделать абсолютно герметичными.

Демонтаж фурменного прибора требуется только для смены холодильников, а поэтому в большей степени будет гарантировать плотность прилегания шаровых заточек.

Инж. А. И. Рязанцевым [10] был высказан ряд критических замечаний по поводу приведенного устройства. Прежде всего подвергается сомнению возможность выбивки сгоревшей фурмы без останова печи, с чем согласиться никак нельзя. В большинстве случаев фурму, имеющую коническую заточку, будет нетрудно сдвинуть с места при помощи домкратной скобы, а потом вынуть за трубки. В том же случае, если этого не удастся сделать, фурму можно выбить при помощи приспособления, изображенного на фиг. 60. Ввести штангу приспособ-



Фиг. 59. Схема смены фурмы.

собления для выбивки фурм через гляделку вполне возможно, так же как это практикуется при прочистке фурм ломом. Поскольку подача дутья в доменную печь не прекращается, полностью отпадает надобность в очистке гнезда и оттеснении кокса забивкой глины. Установке фурмы в гнездо поможет дутье, которое будет прижимать фурму к заточке фурменного холодильника.

Так как поверхность заточки будет чистой, то между фурмой и фурменным холодильником не будет получаться щели. Смена фурмы займет всего 4—6 мин., а поэтому увеличение фурменного очага после удаления фурмы, надо полагать, не сможет оказать сколько-нибудь заметного действия на кладку заплечиков. Частичное или полное оплавление гарнисажа гнезда фурмы несомненно произойдет, но после постановки фурма легко наберет новый гарнисаж, так что это обстоятельство не вызывает никаких сомнений.

Опасаться выбрасывания фурмы при осадке печи не приходится, потому что газы из горна доменной печи устремятся через отверстие фурмы и фурменный рукав в кольцевую трубу и усилий на фурму со стороны горновых газов не будет. В обычных же условиях давление в горне меньше, чем в фурменном рукаве и дутье поэтому будет прижимать фурму к заточке фурменного холодильника.

Отклонение сопла от горизонтального положения, благодаря достаточной ширине шаровых заточек, не будет вызывать нарушения герметичности.

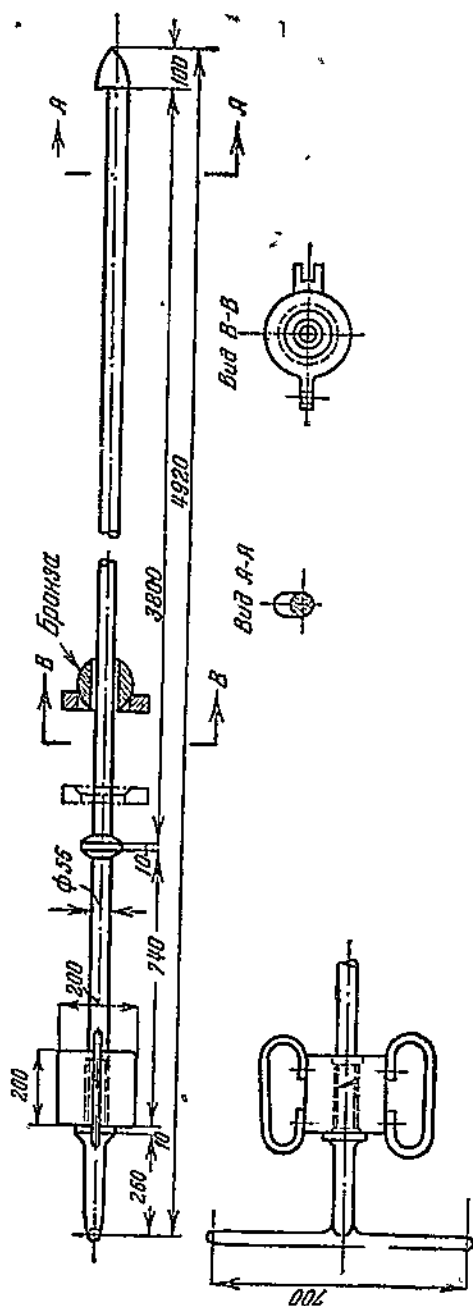
Исходя из американской практики при стальных коленах, нет необходимости в футеровке патрубка гляделки, поэтому и нами этот патрубок выполнен без футеровки; в случае надобности такая футеровка может быть предусмотрена.

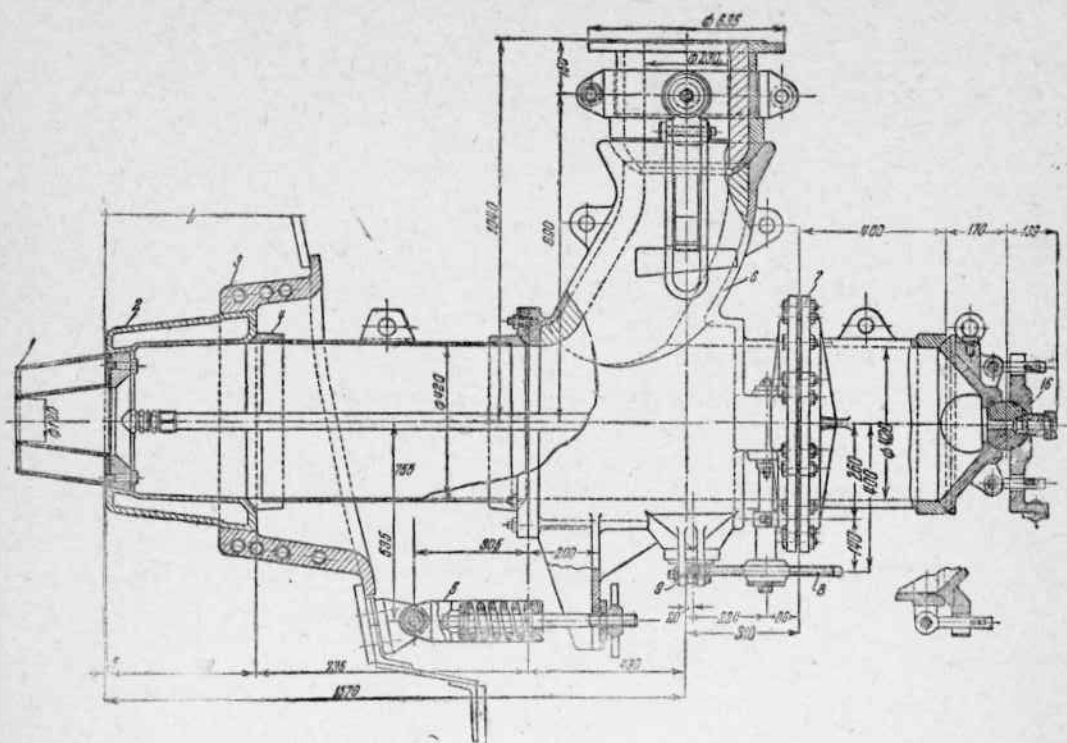
В конечном результате можно сделать заключение, что предлагаемое устройство фурменного прибора не встретит затруднений при его применении в практических условиях. Увеличение веса и габаритов предложенного фурменного прибора вполне оправдывается его громадными преимуществами, заключающимися в устранении простоев, а также облегчении и безопасности труда.

Большой вес фурменного колена и сопла лишь потребует при смене амбразур применения простейшей механизации в виде талей, тельфера и др.

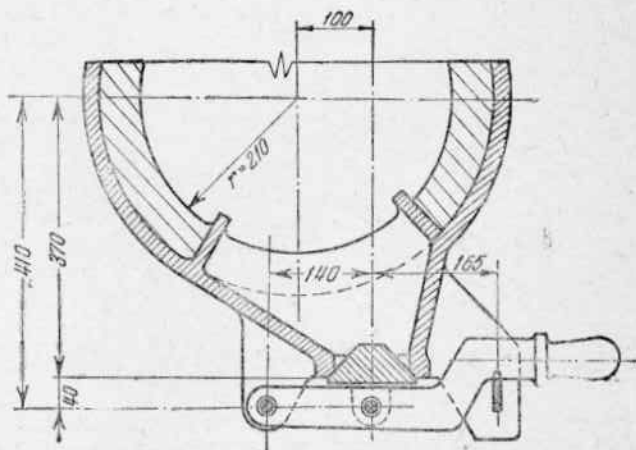
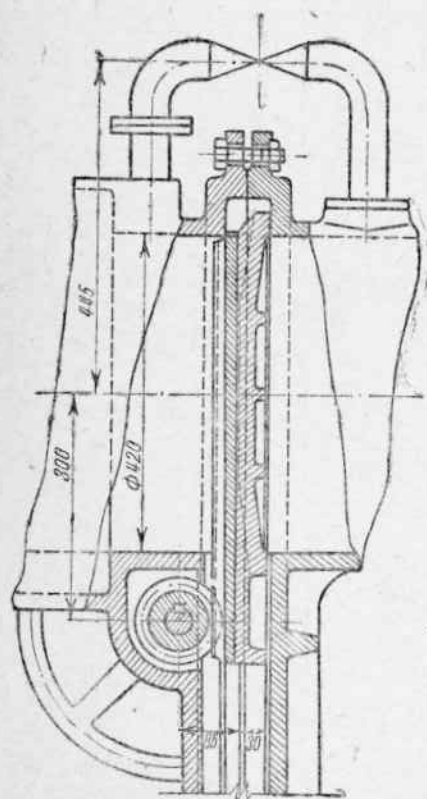
Экспериментальный фурменный прибор применительно к доменной печи № 2 Н.-Салдинского завода приведен на фиг. 61.

Фиг. 60. Приспособление для выбива фурмы.

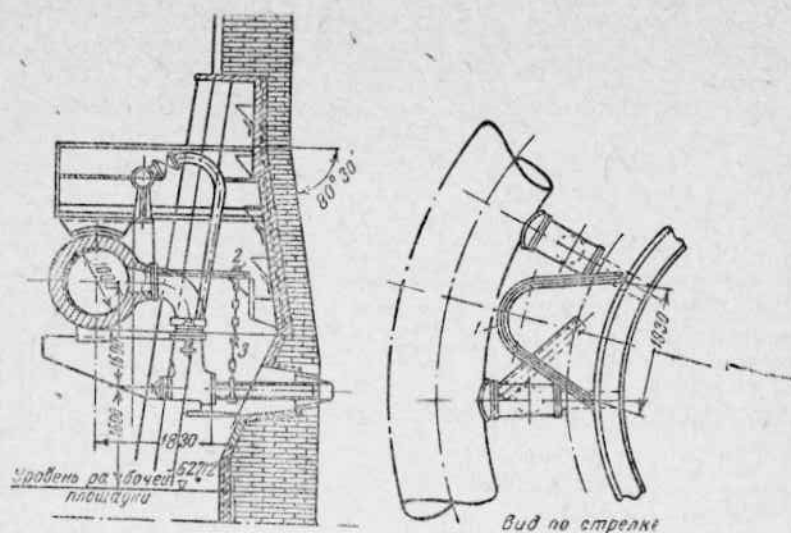




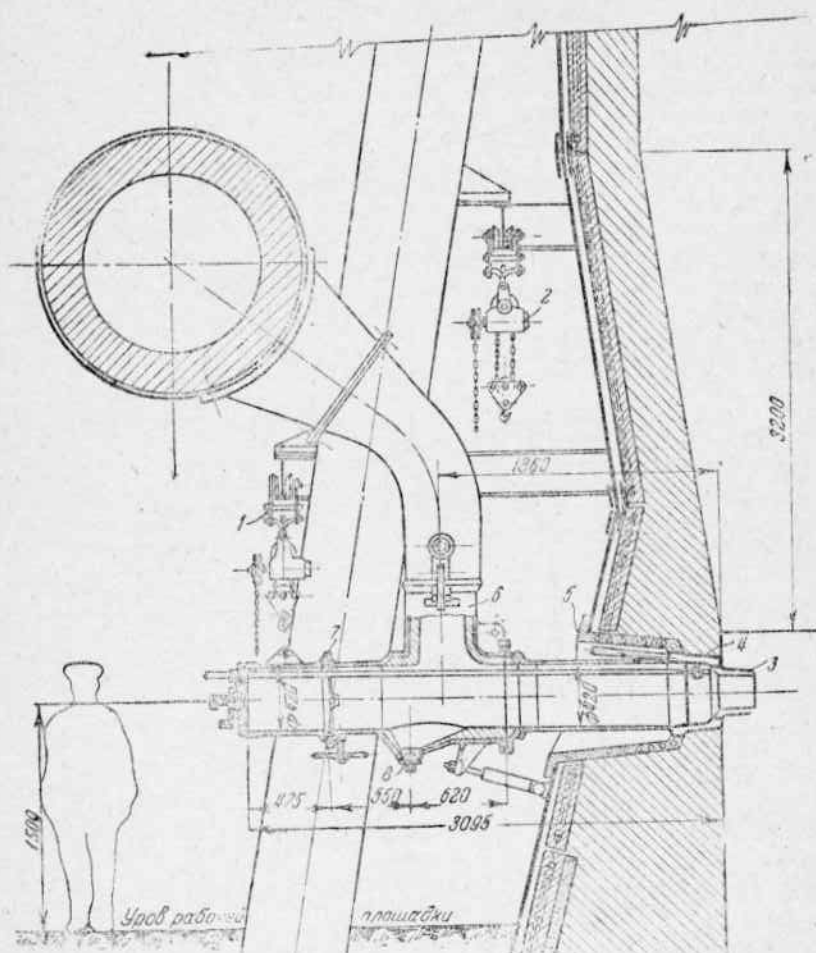
Фиг. 61. Экспериментальный фурменный прибор для доменной печи № 2 Н.-Салдинского завода: 1 — фурма; 2 — фурменный холодильник; 3 — амбразура; 4 — сопло; 5 — натяжной болт; 6 — колено; 7 — задвижка; 8 — штурвал для задвижки; 9 — спускной клапан для шлака; 10 — гляделка.



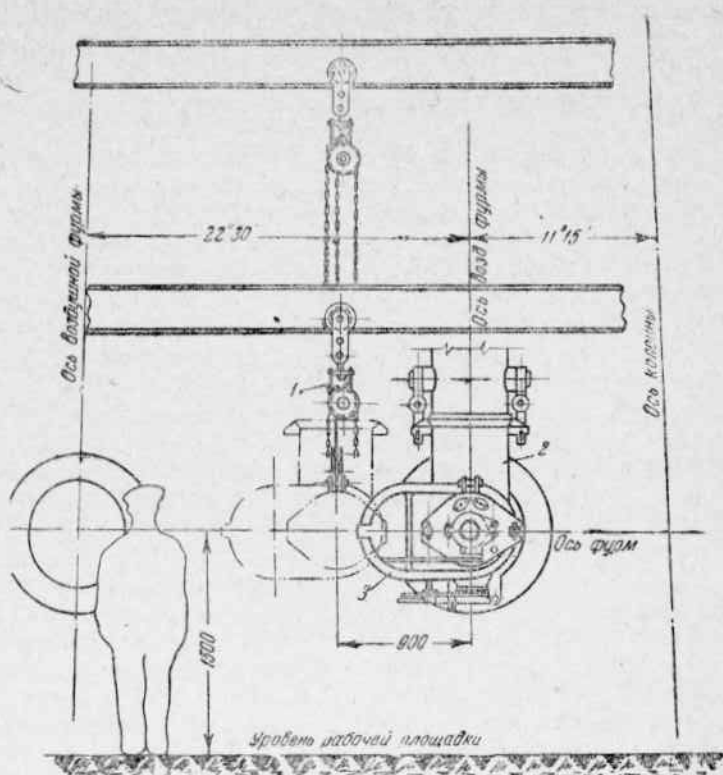
Фиг. 62. Детали фурменного прибора Н.-Салдинского завода: слева — задвижка; справа — деталь клапана для спуска шлака.



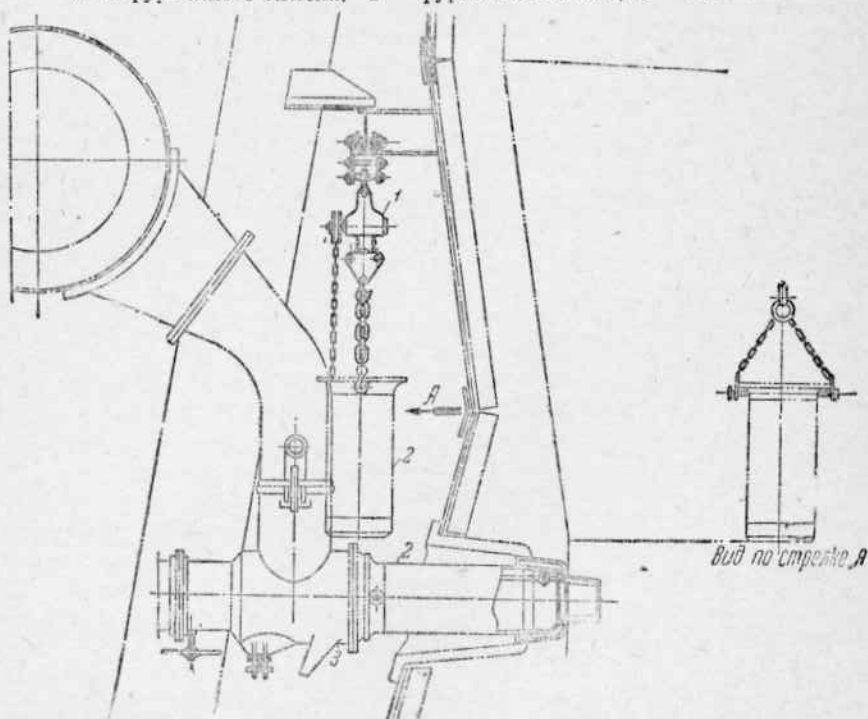
Фиг. 63. Приспособление для смены фурм системы обермастера Н. Ф. Гайдукова.



Фиг. 64. Устройство для смены холодильников фурменного прибора: 1 — тельфер для отвода, уборки и подачи фурменного колена; 2 — тельфер для уборки и подачи сопла; 3 — фурма; 4 — фурменный холодильник; 5 — амбразура; 6 — колено; 7 — задвижка; 8 — клапан.



Фиг. 65. Положение фуменного колена с задвижкой при смене фуменного холодильника: 1 — тельфер для отвода, уборки и подачи фуменного колена; 2 — фуменное колено; 3 — задвижка.



Фиг. 66. Положение сопла при смене холодильника: 1 — тельфер для уборки и подачи сопла; 2 — сопло; 3 — фуменное колено.

Задвижки с обводной трубкой для указанного прибора и конический клапан для спуска шлака при заливке его в рукаве приведены на фиг. 62.

§ 9. Механизация смены фурм и фурменных холодильников

Вопрос механизации смены фурм и фурменных холодильников представляет собой актуальную задачу, требующую разрешения. В настоящее время для облегчения труда при смене фурм и холодильников находит довольно широкое применение кольцевой монорельсовый путь под кольцевой воздухораспределительной трубой с тельфером или электроталью, при помощи которых могут быть поданы детали фурменного прибора (сопло, колено фурмы, холодильник и др.), а также произведен его демонтаж. Однако применение тельфера или электротали далеко не устраняет тяжелый ручной труд по выбивке фурм, холодильников, оттеснению глиной кокса, для гнезда фурмы и др.

Для ускорения смены фурм доменной печи обермастером И. Ф. Гайдуковым предложено заслуживающее внимания несложное устройство, изображенное на фиг. 63. Между двумя смежными фурмами устраивается монорельсовый путь 7, прикрепленный к водосборному корыту. На этом монорельсовом пути смонтирована тележка 2 с крюком и цепью 3, при помощи которой сопло может быть снято и отведено в сторону. Эта же тележка используется и для подачи фурмы. Такое несложное приспособление ускоряет смену фурмы до 4—5 мин., что имеет крупное производственное значение.

На фиг. 64, 65 и 66 приведено устройство для простейшей механизации смены холодильников при фурменном приборе нашей системы. Вокруг доменной печи устраивается два монорельсовых пути, по которым могут передвигаться ручные или электрифицированные тали или тельферы. При помощи двух талей можно фурменное колено отвести в сторону, а сопло снять при помощи третьей тали. Наличие трех талей вполне обеспечит механизированную смену фурменных холодильников.

ГЛАВА II

ШАХТА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

§ 10. Европейский тип шахты

Для обеспечения прочности кирпичная кладка шахты доменной печи нуждается в креплении. Для доменных печей европейских заводов характерно наиболее простое крепление при помощи бандажей. Бандажи изготавливаются толщиной от 20 до 30 мм и надеваются на кладку на расстоянии 300—400 мм друг от друга. Часть шахты с креплением бандажами показана на фиг. 67. Для обеспечения некоторой свободы расширения концы бандажей соединяются клиньями, кольцом или болтом. Эти способы изображены на фиг. 68, из них наиболее практично соединение концов бандажки кольцом.

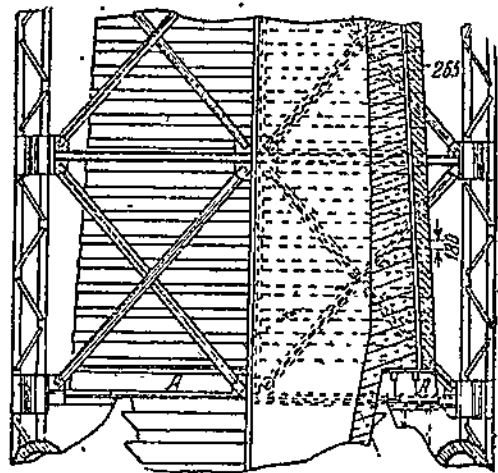
Большим преимуществом шахты европейского типа следует считать, помимо простоты конструкции, возможность производства частичного ее ремонта без выдувки доменной печи. Такой ремонт производится после опускания шахты ниже того места, которое предполагается ремонтировать.

Небольшие пространства можно отремонтировать, отгесняя материал забивкой глины, но такой прием нельзя рекомендовать по соображениям техники безопасности.

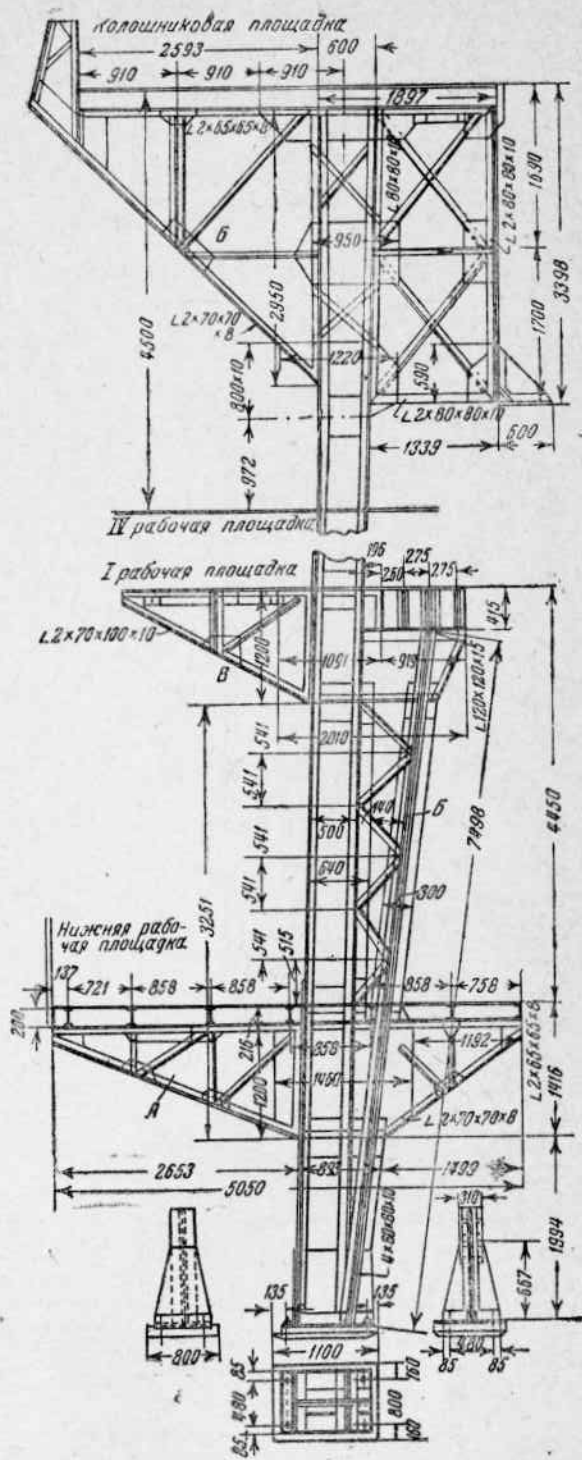
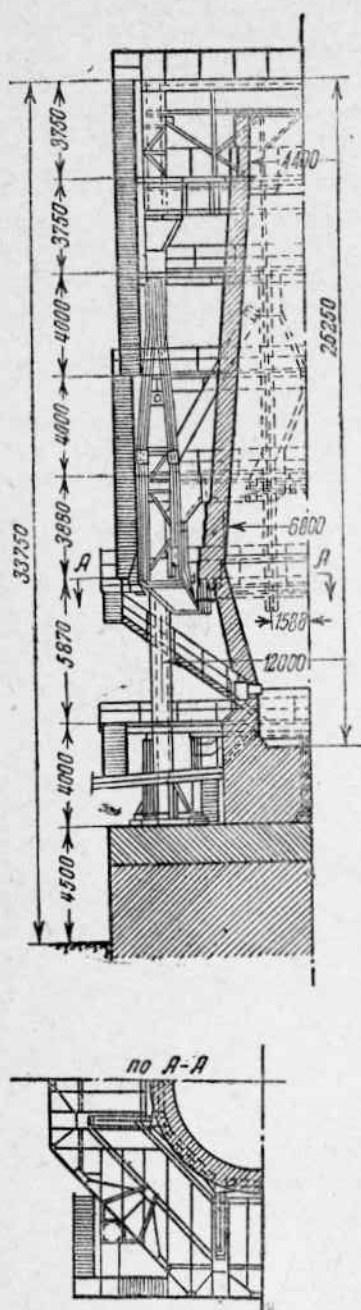
Крепление шахты бандажами имеет большие недостатки, основным из которых является отсутствие герметичности. При сползании гарнисажа швы кладки пропускают газ, способный воспламениться. При осадке изношенная часть кладки может разрушиться, а раскаленные материалы будут выброшены дутьем из печи, что может привести к тяжелым несчастным случаям. Крепление бандажами не допускается правилами техники безопасности, принятыми в СССР.

При отсутствии кожуха опорное кольцо под шахту доменной печи воспринимает всю нагрузку от шахты, а поэтому делается достаточно массивным с запасом прочности 8—10, имея в виду возможность его нагревания при негерметичности заплечиков или места соединения шахты с заплечиками.

При креплении шахты бандажами колошниковое устройство не может быть основано на шахте. Для поддержания колошниковой конструкции и подъемника предусматриваются под колошниковую площадку колонны, являющиеся продолжением колонн под основное опорное кольцо шахты. Под опорное кольцо шахты и под колошниковую площадку устанавливаются четыре или больше колонн. Устройство колонн основного кольца и колошниковой площадки для одной из европейских доменных печей приведено на фиг. 69. Изображенная на фиг. 69 доменная печь имеет восемь колонн, связанных между собой опорным

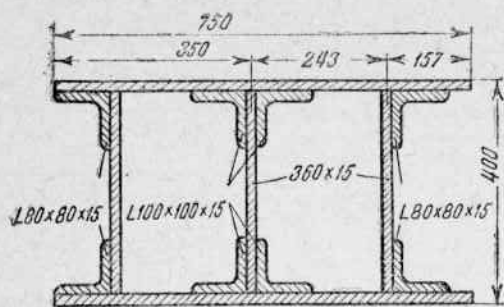


Фиг. 67. Крепление шахты бандажами.

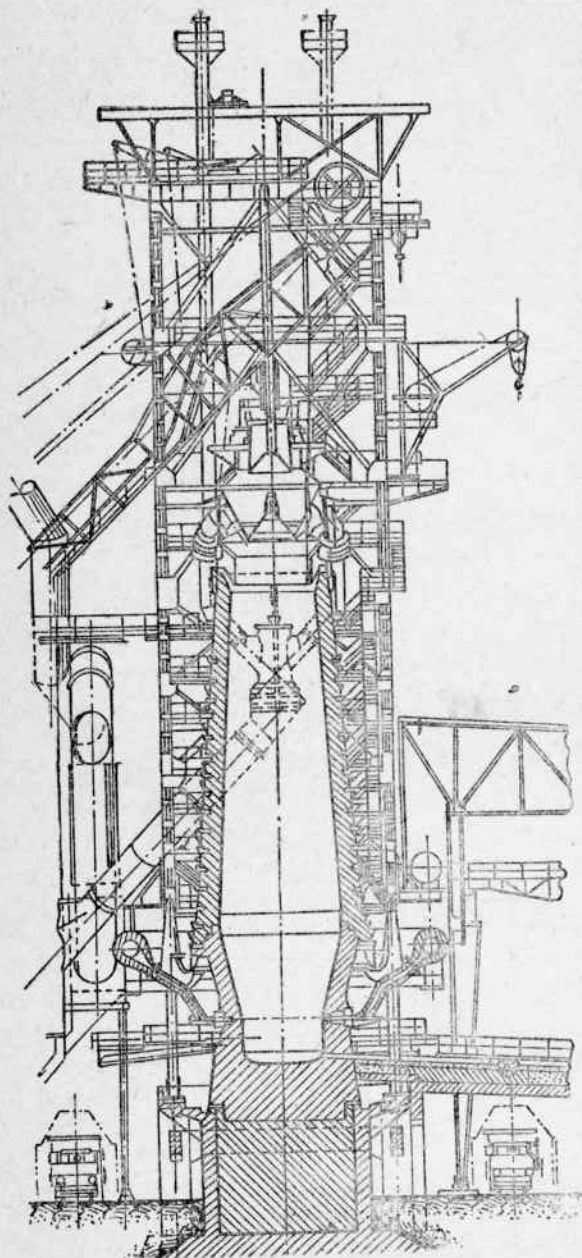


Фиг. 70. Устройство колонны и площадки при шахте европейского типа.

Фиг. 71. Колонна под шахту европейского типа и колошниковую площадку.



Фиг. 72. Сечение опорного кольца под шахту.



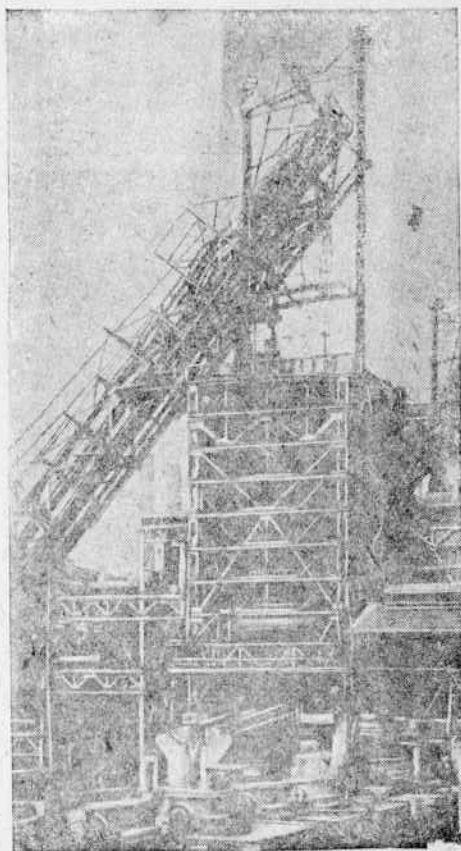
Фиг. 73. Доменная печь с шахтой европейского типа: разрез и вид в монтаже.

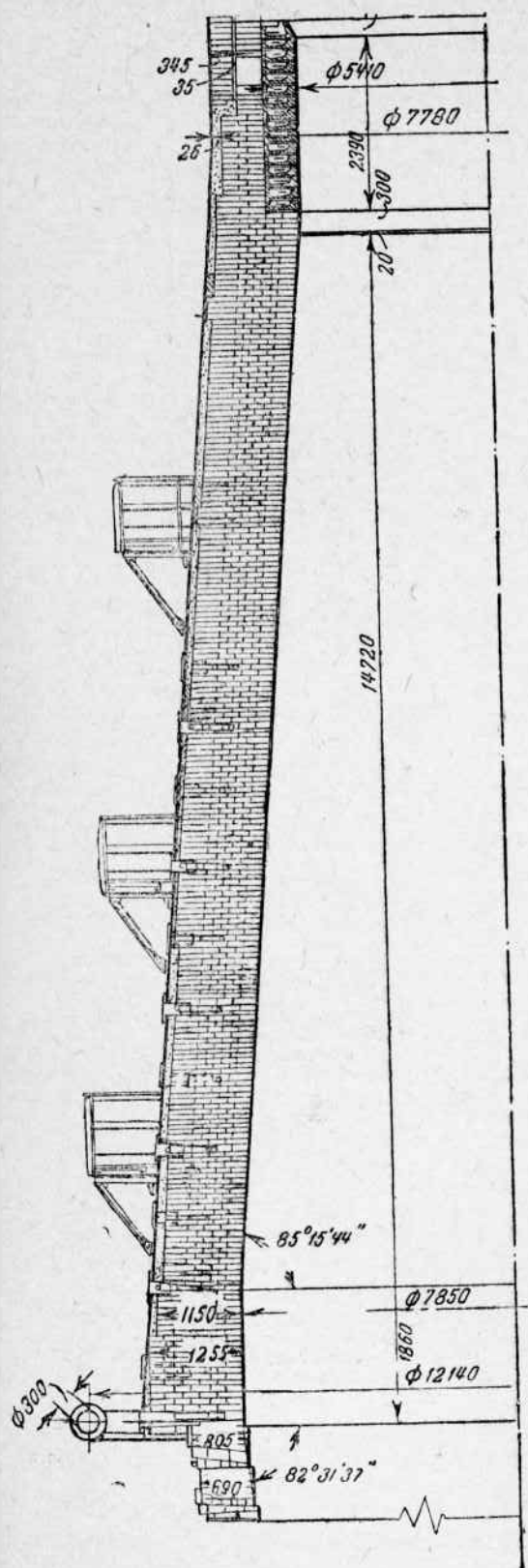
кирпичной кладкой для первой типовой доменной печи, и на фиг. 75 шахта для второй типовой доменной печи Гипромеза. В нижней своей части приведенные шахты охлаждаются горизонтальными сменяемыми холодильниками, предохраняющими кладку от износа газами, идущими около стенки печи с повышенной скоростью, особенно в случае бутылкообразного профиля.

1. Кожух шахты

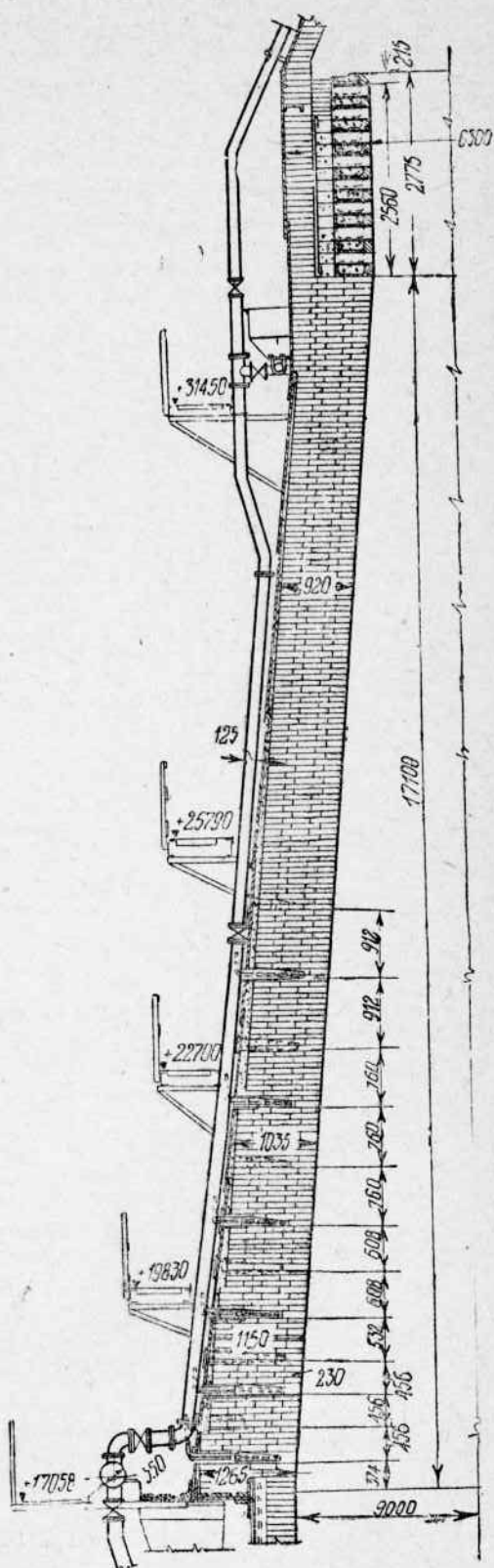
Кожух шахты выполняется из мягкого котельного железа толщиной от 12 до 30 мм в зависимости от размера печи (см. табл. 4).

Нижние два пояса делают большей толщины, так как являются составной частью (стенкой балки) опорного кольца под шахту, а верхние два пояса, как несущие нагрузку от колошниковой





Фиг. 74. Шахта 1-й типовой доменной печи.



Фиг. 75. Шахта 2-й типовой доменной печи.

площадки с колошниковым устройством от засыпного аппарата и газоотводов.

Кожух шахты шотландского типа представляет собой колонну с громадным моментом сопротивления, что позволяет опереть на нее наклонный мост, засыпной аппарат, газоотводы и все колошниковое устройство доменной печи. Для обеспечения герметичности клепка шахты производится прочно плотным швом с хорошей расчеканкой. Горизонтальные стыки листов заклепываются внахлестку обычным двухрядным швом, а вертикальные стыки внакладку 2- или $2\frac{1}{2}$ -рядным швом.

Кожух шахты первой типовой доменной печи показан на фиг. 76. Этот кожух имеет коническую верхнюю часть по форме шахты, недостатком которой является возможность обваливания кладки и обнажения кожуха воздействием горячих газов.

При нарушении герметичности швов газ проникает через швы наружу, загорается, а от нагрева кожух коробится, увеличивая неплотность. В практических условиях нередко даже небольшая негерметичность кожуха приводит к короблению его и к нарушению соединений листов.

В верхней части кладка шахты не имеет гарнисажа, делающего герметичным швы, а поэтому плотность кожуха является особенно необходимой.

Для улучшения устойчивости кладки конической части шахты, а также для большей механической прочности верха кожуха,

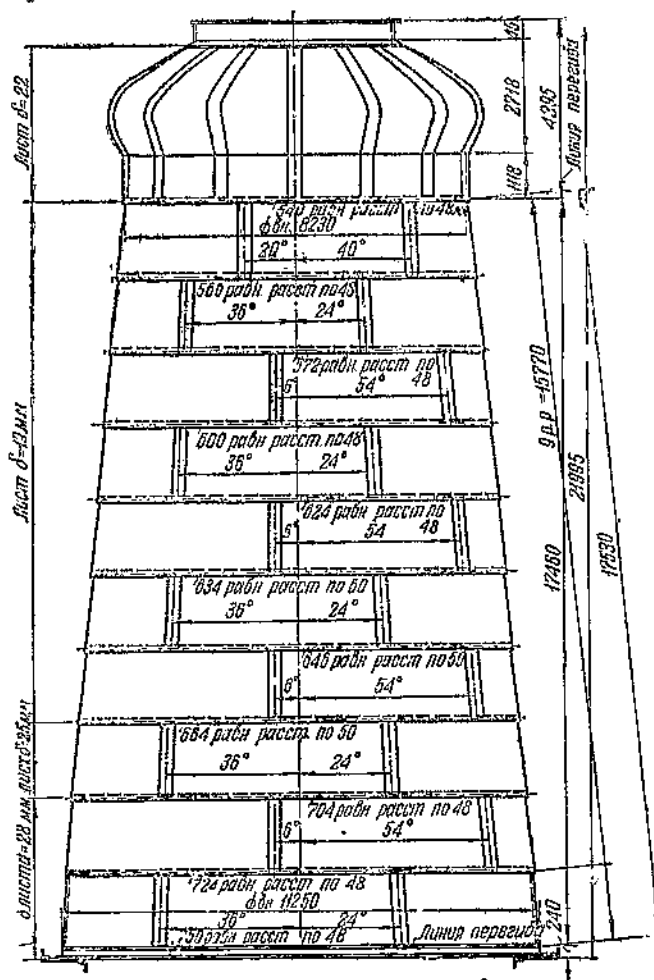
на американском съезде доменщиков в Чикаго в 1930 г. было предложено кожух шахты в верхней части делать в виде купола, как это видно на фиг. 77. Купольный кирпич является более устойчивым в кладке. Достаточная устойчивость может быть получена при выкладке купольной части кожуха и из простого кирпича.

Детали стыков кожуха шахты показаны на фиг. 78.

Клепка шахты производится с подмостей или со специальных подвесных люлек.

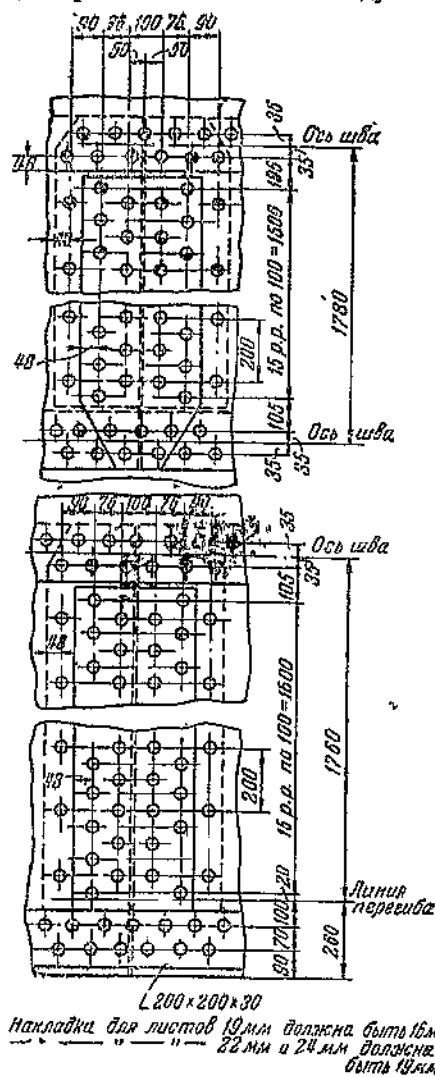
Значительная экономия металла будет иметь место, если кожух шахты сделать сварным. Сварной кожух можно ставить в тех местах, где предусмотрено хорошее охлаждение кладки шахты.

Кожух шахты доменной печи является дорогим сооружением, а поэтому во избежание порчи кожуха недопустимо работать в конце кампании печи с отсутствием кладки и охлаждением кожуха поливкой водой при помощи брызгал.



Фиг. 77. Кожух шахты с куполом.

Работа доменной печи с полным или частичным отсутствием кладки в шахте не только портит кожух, но и сопровождается повышенным расходом горючего. При износе шахты до нагревания кожуха необходимо остановить доменную печь для ремонта шахты без выдувки. Выдувка необходима в том случае, если изношена не только шахта, но и заплечики и горн. Коробление кожуха и частичный выход его из строя значительно удлиняют время, необходимое для капитального ремонта доменной печи.



Фиг. 78. Детали стыков кожуха шахты.

Фиг. 78. Детали стыков кожуха шахты.

получили широкое распространение по причине лучшего их сопротивления разъеданию чугуном при прорыве, небольшим габаритам, круглой форме сечения, не стесняющей обслуживание и устраняющей ушибы, возможные в условиях спешной работы у горна, например при смене фурм, холодильников и пр.

Сечения клепаных колонн разнообразны. Наиболее практичные сечения для клепаных колонн приведены на фиг. 81.

Менее практичные и более сложные в изготовлении колонны коробчатого сечения изображены на фиг. 82.

Сварные колонны могут быть выполнены круглого или прямоугольного сечения из листов.

На фиг. 83 приведена колонна под шахту первой типовой доменной печи и даются виды пяти колонны и ее сечение.

2. Колонны

Количество колонн под доменную печь зависит от числа фурм. Минимальное число колонн четыре. При таком количестве колонны свободно располагаются около горна, оставляя достаточно места для обслуживания фурменных приборов. Такое расположение колонн приведено на фиг. 79. При четырех колоннах в случае выхода одной из них из строя (при прорыве), устойчивость сооружения подвергается большой угрозе. Кроме того, при четырех колоннах опорное кольцо под шахту получается весьма массивным.

Чаще количество колонн делают в два раза меньше по сравнению с количеством фурм, но нередко также число колонн равняется числу фурм.

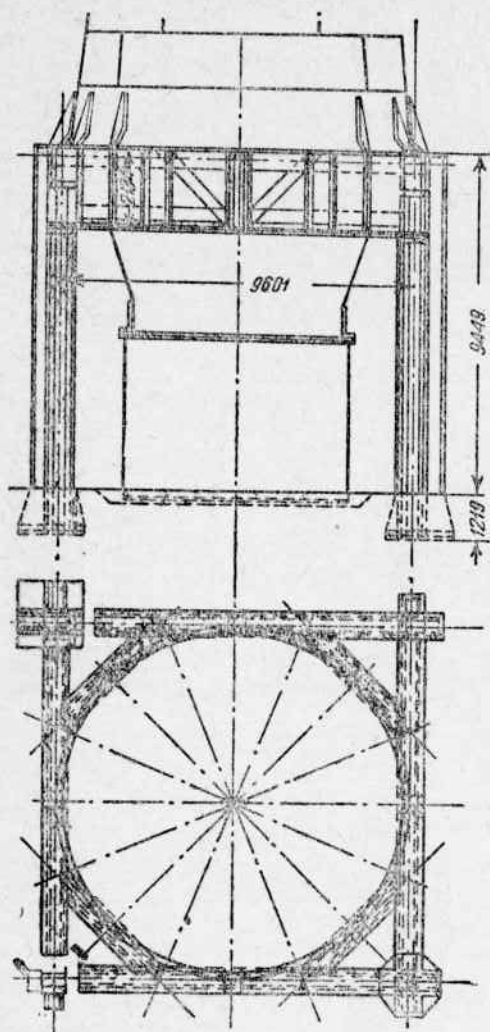
Автор рекомендует устанавливать колонны в количестве, равном числу фурм, так как при этом получают небольшие габариты колонн и обеспечивается небольшой пролет опорного кольца, хотя при этом стеснено расположение шлаковой летки. Небольшие габариты колонн в свою очередь не стесняют в расположении фурменных приборов, чем способствуют удобному их обслуживанию.

Обычно колонны делают литыми чугунными или железными клепаными, но нет никаких препятствий делать их и сварными, что много дешевле клепаных.

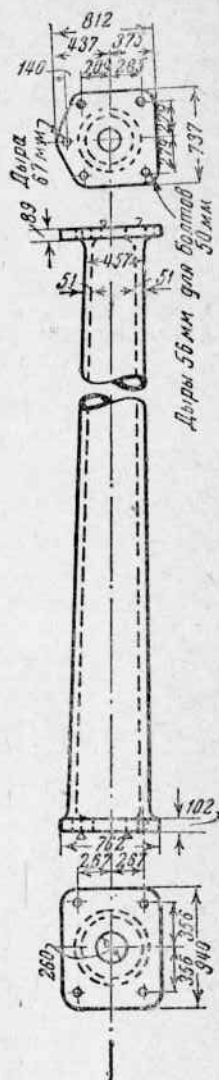
Чугунная литая колонна под шахту доменной печи изображена на фиг. 80. На американских заводах чугунные колонны

Для предохранения от разъедания чугуном при прорыве колонны должны быть защищены чугунным литым кожухом и обложены в нижней части огнеупорным кирпичом.

Хорошая конструкция колонны для доменных печей Магнитогорского завода и ее детали показаны на фиг. 84, тогда как сечение было приведено раньше на фиг. 81.



Фиг. 79. Устройство колонн под шахту доменной печи.



Фиг. 80. Чугунная литая колонна под шахту доменной печи.

Ввиду того что на доменных печах Магнитогорского завода количество колонн равно шестнадцати, т. е. числу фурм, габариты колонны получились небольшими, не стесняющими обслуживание горна.

Верхняя плоскость капители и нижняя плоскость пяты колонны должны быть обработаны для плотного соединения с опорными кольцами под шахту и под колонны, в целях лучшей передачи нагрузки равномерно всем колоннам.

Для предохранения от разъедания чугуном при прорыве горна колонны обкладываются в нижней части огнеупорным кирпичом и защищены чугунным

литым предохранительным кожухом из двух половин, соединенных болтами, который изображен на фиг. 84, в.

Для соблюдения точности в установке колонн делается деревянный каркас, выполненный точно по размерам.

Для устранения разрушения фундамента под колонной при прорыве горна необходимо пятую колонну помещать на уровне второго или третьего ряда кладки лещади.

На фиг. 85 показан вид колонн, установленных на опорное кольцо.

Установку колонн можно производить при помощи башенного крана или деррика.

При расчете колонн учитывается нагрузка:

а) от веса железной конструкции опорного кольца, кожуха, печи колошниковоу устройства;

б) от давления со стороны наклонного моста;

в) от веса кладки шахты и холодильников;

г) от давления столба шихты, принимая во внимание возможность подвисания.

При расчете нагрузки рассчитывается возможность выхода из строя одной из колонн, что может иметь место при прорыве горна.



Фиг. 85 Вид колонн, установленных на опорное кольцо.

3. Опорное кольцо под колонны

Опорные плиты колонны выполняются железными клепаными или чугунными литыми. Для восприятия горизонтальных усилий, получаемых в наклонно поставленных колоннах, а также для обеспечения неизменяемого положения колонн, опорные плиты соединяются между собой в одно кольцо.

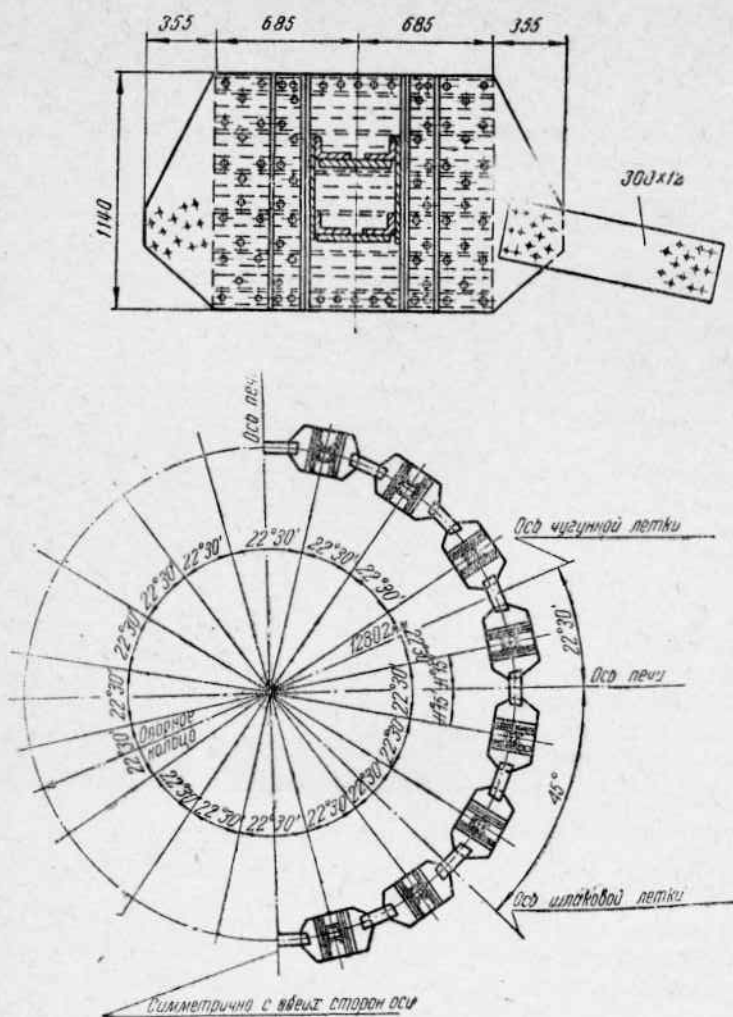
Железная клепаная плита под колонны была приведена вместе с колонной (вид сбоку) на фиг. 84. На фиг. 86 дается план опорной плиты, откуда можно видеть стяжные полосы, соединяющие отдельные плиты в одно сплошное кольцо.

Такое устройство опорного кольца под колонны можно считать вполне надежным. Дополнительного закрепления плит анкерными болтами не требуется, так как опорное кольцо вполне обеспечивает неизменяемость положения колонн.

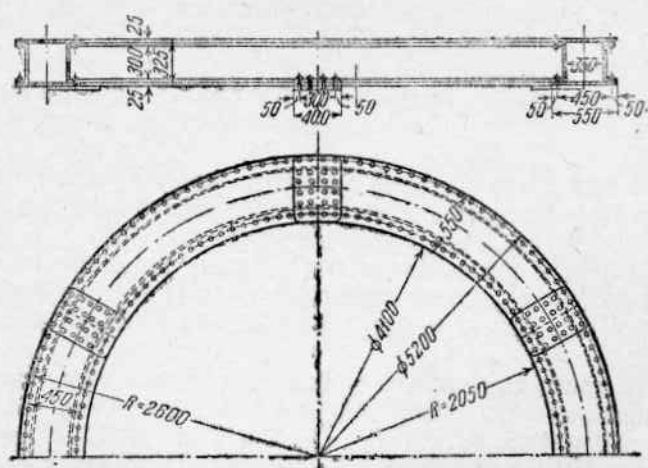
На фиг. 87 представлено более легкое по конструкции железное клепаное опорное кольцо под колонны, предназначенное для небольших доменных печей. Его преимущество — несложное изготовление.

Опорная чугунная литая плита под колонну показана на фиг. 88. Такие плиты соединяются между собой коваными тягами. Эта конструкция считается весьма надежной и пользуется широким распространением на доменных печах юга СССР.

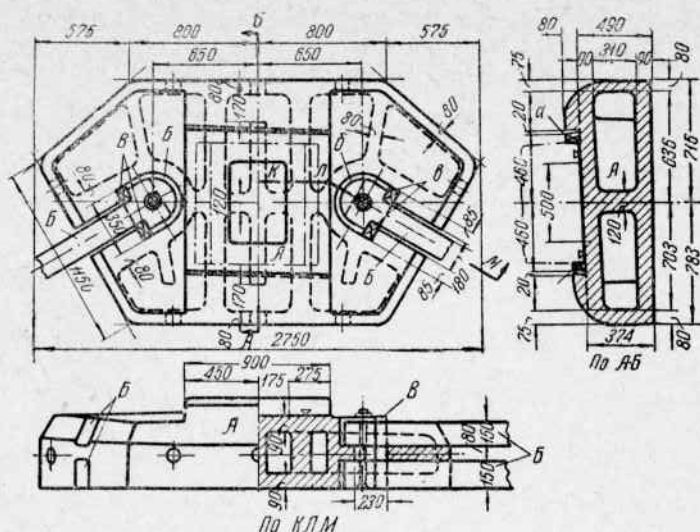
На фиг. 89 приведено опорное кольцо под колонны, изготовленное из чугунных отливок, сегмент этого кольца в плане и сечения его. Такое устройство широко применяется на заводах США и у нас в СССР на типовой доменной печи. Надежность устройства не подлежит сомнению, а изготовление при наличии на заводе чугунолитейного цеха дает возможность получить такое кольцо более дешевым по сравнению с клепаной конструкцией.



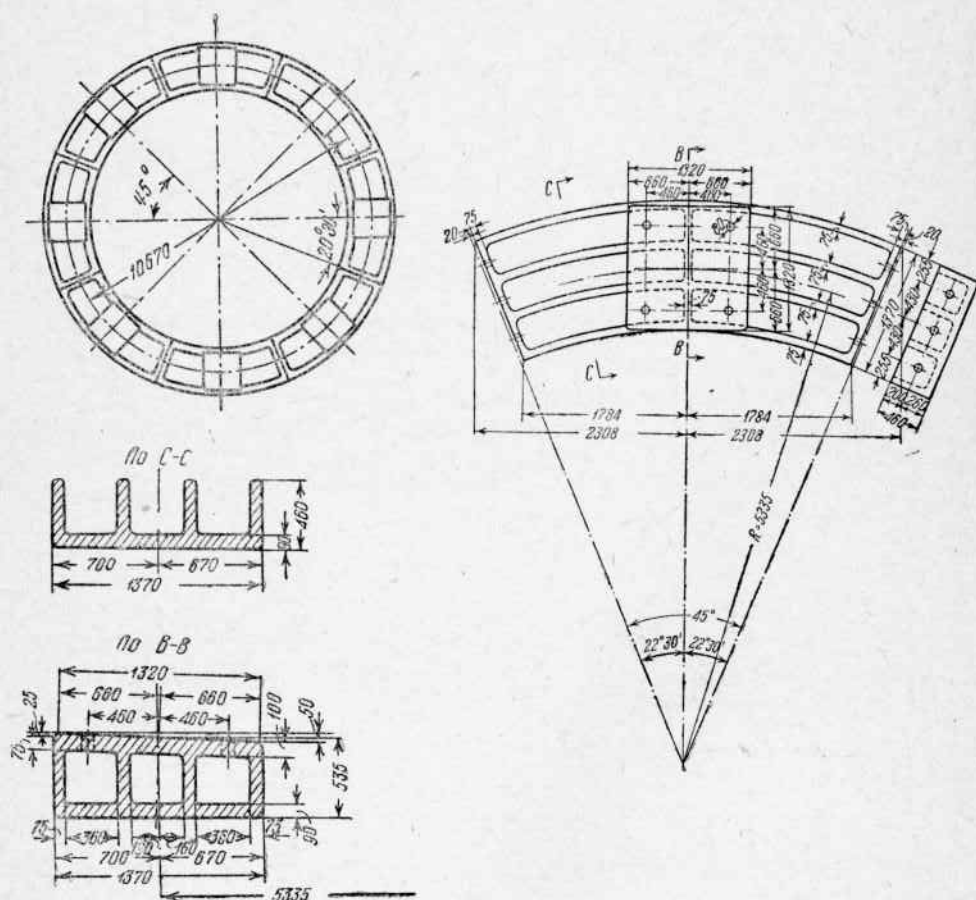
Фиг. 86. Опорная плита и опорное кольцо под колонны мощных доменных печей.



Фиг. 87. Опорное кольцо под колонны доменных печей небольших размеров.



Фиг. 88. Опорная плита чугунного литья под колесну доменной печи.

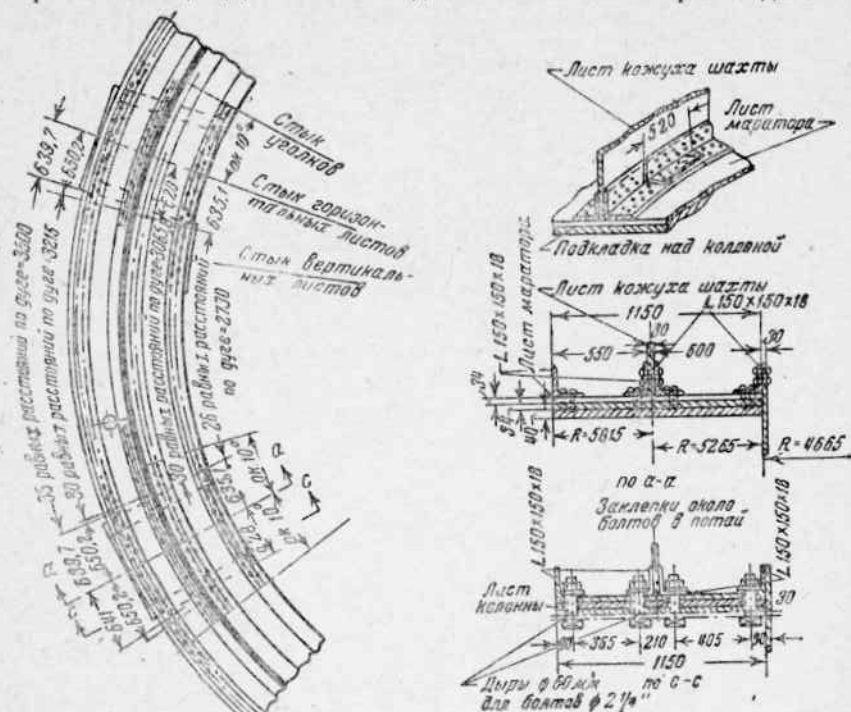


Фиг. 89. Опорное кольцо чугунного литья под колонны доменной печи:
 вид опорного кольца в плане; сегмент опорного кольца (план); разрез
 между колоннами (сверху) и под колонной (снизу).

Преимущество чугуновых массивных отливок заключается в их лучшем сопротивлении разъеданию чугуном при прорыве, а также в меньшей коррозии по сравнению с железными клепаными конструкциями.

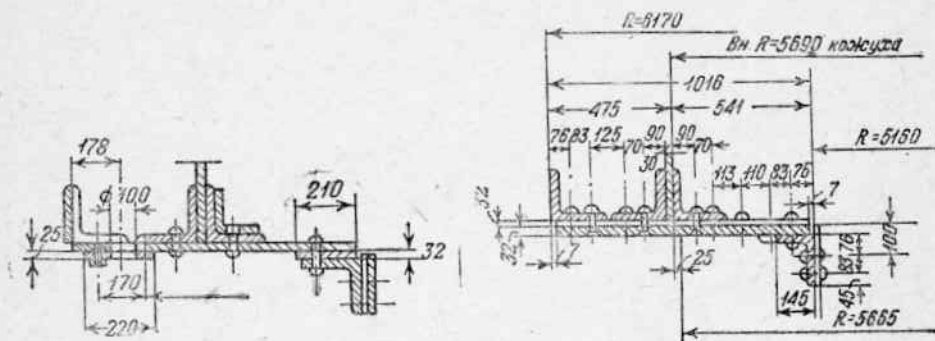
4. Опорное кольцо под шахту

При шахте доменной печи шотландского типа кожух служит также стенкой балки опорного кольца. Для больших доменных печей с производительностью



Фиг. 90. План (слева) и разрезы (справа) опорного кольца под шахту первой
типовой доменной печи.

выше 700 *т* в сутки толщину горизонтального листа принимают 30—36 мм, а при меньшей производительности печей можно ограничиться толщиной листа

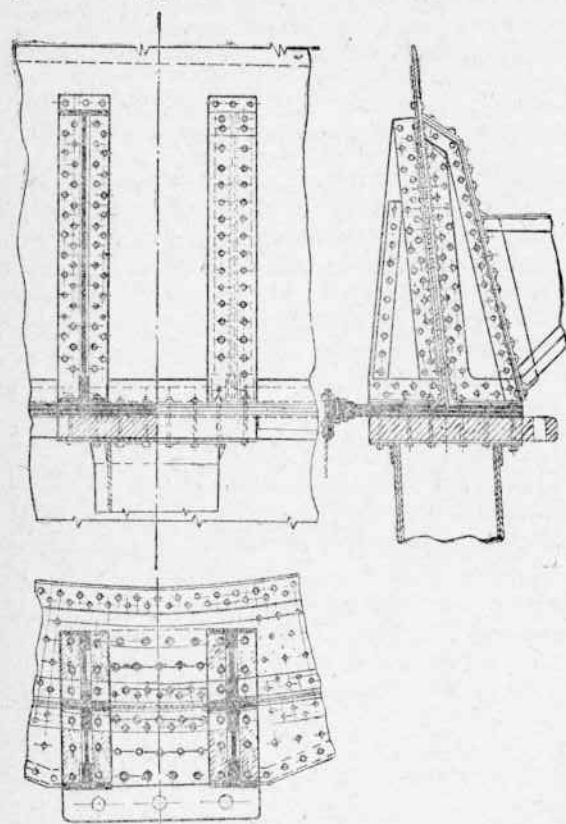


Фиг. 91. Разрезы через опорное кольцо: слева — между колоннами; справа — у колонны.

24—26 мм. Под капители колонн делается подкладка из листового железа толщиной 30—40 мм для противодействия местному вмятию горизонтального листа. Устройство опорного кольца показано на фиг. 90 для первой типовой, а на фиг. 91 — для второй типовой доменной печи. В первом случае угольник, скрепляющий кожух заплечиков с горизонтальным листом опорного кольца,

На некоторых заводах опорное кольцо под шахту усиливается прикрепленными к кожуху и горизонтальному листу кронштейнами, как показано на фиг. 92.

В этой конструкции на горизонтальный лист опорного кольца устанавливались сегменты стальной отливки с амбразурами для горизонтальных холодильников. Опорное кольцо Сталинского завода оправдало себя на работе, но оказалось слишком дорогим и сложным в изготовле-



а)

Стык двух сегментов

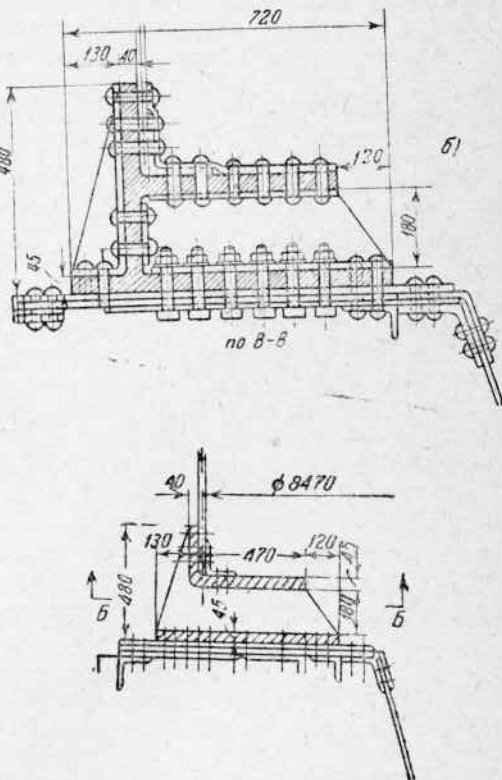
525

405

40

А

В



Фиг. 93. Конструкция опорного кольца стального литья шахты доменной печи № 1 Сталинского завода: *a* — общий вид узла; *b* — разрез по В — В; *в* — разрез по А — А;

59

При монтаже необходимо обращать особое внимание на точность горизонтального положения опорного кольца и достигать полного соприкосновения кольца с капителями колонн. Выравнивание опорного кольца обеспечивается изменением толщины подкладки под капители колонн.

§ 12. Об износе шахт доменных печей

Износ кладки шахт в большинстве случаев определяет продолжительность кампании доменной печи. На износ кладки шахты доменных печей имеют влияние следующие факторы: характер профиля доменной печи; размеры и конструкция засыпного аппарата; конструкция заплечиков; система охлаждения кладки шахты; размер колоши; качество проплавляемых материалов; распределение дутья по фурмам; качество кирпича и кладки.

При удовлетворительном качестве кирпича в отношении механических свойств и огнеупорности, воздействия реакции Белля износ причиняется главным образом поднимающимися около стенок газами, имеющими высокое содержание пыли, а в нижней части печи и высокую температуру (2, § 16). При этом разрушение кирпича происходит вследствие выветривания и абразивного действия пыли газа при большой скорости, аналогично пескоструйному аппарату. Величина скорости газового потока определяет величину износа стенок в единицу времени при прочих равных условиях, а поэтому все факторы, увеличивающие скорость периферийного потока газов, будут увеличивать износ и, наоборот, факторы, уменьшающие скорость газа у стенки, — уменьшать износ кладки шахты.

1. Влияние характера профиля доменной печи на износ шахты

Умеренные скорости газов около стенок доменной печи имеют место при нормальном профиле доменной печи с минимальной разницей между диаметром горна и колошника. Практика работы доменных печей с нормальным профилем выявляет достаточно определенное повышение кампании их при всех прочих равных условиях. В условиях заводов СССР в настоящее время максимальная по продолжительности кампания 11 лет была получена на доменной печи Саткинского завода, выполненной по проекту автора и работавшей на древесном угле на передельные чугуны. Эта доменная печь работала достаточно форсированно с коэффициентом использования полезного объема, временами достигавшего $1,0 \text{ м}^3/\text{т}$. Охлаждение шахты отсутствовало и продолжительность кампании этой печи можно объяснить профилем нормального типа, имевшим диаметр колошника на 300 мм больше диаметра горна [2].

С превышением диаметра горна над диаметром колошника и с уменьшением угла наклона стенок шахты усиливается периферийный ход газов и возрастают их скорости, что приводит к увеличению износа стенок шахты. Шахта доменной печи, имеющей бутылкообразный профиль, сильно изнашивается от действия периферийного газового потока. По мере износа стенок шахты, расширяющего профиль и способствующего увеличению периферийного газового потока, изнашивающее действие газов будет прогрессировать вследствие увеличения скоростей.

Увеличение продолжительности кампании доменных печей требует применения нормального профиля, понятие о котором было изложено в § 5 первой части нашего труда.

2. Влияние размера и конструкции засыпного аппарата на износ шахты

Большое значение на развитие периферийного хода газов имеет размер зазора между стенкой колошника и конусом засыпного аппарата. Для получения минимальных скоростей периферийного газового потока необходимо обеспечить максимальную толщину рудной линзы у стенки доменной печи. При таком положении гребня рудной линзы при всех других равных условиях износ стенки шахты будет минимальным. Конструкция засыпного аппарата должна обеспечи-

вать равномерное сопротивление прохождению газов у стенки печи по окружности колошника. Уменьшение сопротивления прохождению газов в какой-либо части окружности колошника вызывает повышение скорости газового потока, а следовательно, и увеличение износа стенок шахты. Особенно неблагоприятно сказывается на износе шахты одностороннее сосредоточение сыпи вследствие неправильной установки конусов аппарата или дефектов его конструкции. Более подробно вопрос влияния засыпных аппаратов на износ шахты будет рассматриваться ниже при рассмотрении отдельных конструкций.

Само собой разумеется, конструкция засыпного аппарата не может устранить неблагоприятного влияния бутылкообразного профиля доменной печи, так как даже весьма равномерное по окружности и правильное в радиальном направлении распределение материалов не в состоянии устранить периферийный ход газов. Размер зазоров между конусом и стенкой доменной печи зависит от многих факторов, и определение его будет рассмотрено ниже. Здесь необходимо только отметить, что для возможно полного устранения периферийного потока газов, изнашивающего кладку, при бутылкообразном профиле необходимо стремиться к минимальному зазору в пределах для больших диаметров колошников не выше 800 мм. При нормальном профиле доменной печи зазор между конусом и стенкой в случае надобности и в соответствии с требованиями, которые предъявляют проплавленные материалы, может быть и увеличен по сравнению с указанным выше.

При загрузке доменной печи глубина уровня засыпи должна быть нормальной величины, обеспечивающей наличие гребня руды у стенок шахты. Понижение и повышение уровня засыпи по сравнению с указанным обуславливает получение откоса по направлению к стенке печи, что будет способствовать периферийному ходу газов, а следовательно, и повышенному износу стенок шахты.

Для получения наиболее длительной по времени кампании доменной печи совершенно необходимо держать уровень засыпи на нормальной глубине, не допуская перегрузки или недогрузки печи.

3. Влияние конструкции заплечиков на износ шахты

Получению в доменной печи большого потока периферийных газов, изнашивающего кладку печи, сильно способствует расширение профиля доменной печи в заплечиках вследствие износа их кладки. При заплечиках, не обеспечивающих сохранения первоначального профиля, износ кладки расширяет периферийное кольцо у стенки печи, заполненное коксом с очень небольшим количеством руды, вследствие отхода рудных линз от стенок печи. Это кольцо имеет особо большие размеры [6] при бутылкообразных профилях с развитым размером горна. По мере износа стенок заплечиков все более и более возрастающее количество горновых газов от фурменных очагов будет устремляться в это периферическое, почти или полностью свободное от рудной сыпи, кольцо. При этом скорость периферийного газового потока будет возрастать и увеличивать износ стенок шахты выветриванием и истиранием кирпичной кладки пылью, несущейся с газом.

Можно считать, что износ кладки увеличивается пропорционально квадрату скорости газа. Раскаленная коксовая мелочь и полужидкие шлаковые частицы являются при большой скорости газов фактором, сильно изнашивающим кладку.

Для обеспечения минимального износа шахты на основании экспериментально-теоретических соображений, конструкцию заплечиков необходимо делать с неизменяющимся за время кампании доменной печи профилем.

Применение американской конструкции заплечиков с охлаждением горизонтальными коробчатыми медными холодильниками, или заплечиков с вертикально-горизонтальными холодильниками по системе автора, сильно способствует на протяжении кампании печи стабилизации периферийного газового потока, а последнее обеспечивает, при всех прочих равных условиях, максимальную устойчивость шахты доменной печи.

4. Влияние системы охлаждения на износ кладки шахты

Как уже было установлено выше [2, §17], наиболее важными факторами износа кладки шахты являются выветривание кирпича, износ пескоструйным действием газа с пылью, износ истиранием сырыми материалами, реакцией Белля, выделением цинка, пропитыванием кладки легкоплавкими щелочными соединениями.

При значительной толщине кладки шахты поверхностное охлаждение предохраняет только кожух от нагревания, сохраняя его механическую прочность. Охлаждение вертикальными холодильниками такое по характеру поверхностное, но оно не только охлаждает кожух, но и служит ему футеровкой, предохраняя от соприкосновения с раскаленными материалами и газом высокой температуры. Действие поверхностного охлаждения вертикальными холодильными плитами на кладку шахты ничтожно. Эффективного охлаждения кладки шахты можно достигнуть применением устройств, охлаждающих кладку не с поверхности, а по толщине.

Насколько необходимо охлаждение кладки для улучшения сопротивления кирпича изнашивающим факторам до настоящего времени сказать трудно, так как исследовательских работ, выясняющих эту сторону вопроса, не было.

Обращаясь к рассмотрению отдельных факторов, можно сказать, что охлаждение, повидимому, не оказывает заметного влияния на снижение выветривания кирпича, скорее понижение температуры будет способствовать увеличению выветривания, так как при увеличении температуры выше $900-1000^{\circ}$ на сопротивлении выветриванию будет сказываться улучшение слипания зерен кирпича.

Понижение температуры, повидимому, такое не может заметно сказаться на уменьшении износа пескоструйным действием пылеватых газов периферийного потока, потому что от этого изменения температуры прочность кирпича в отношении истирания, надо полагать, не возрастает.

Износ стенок шахты коксом, рудой, известняком также нельзя ставить в зависимость от температуры и нельзя ждать уменьшения износа с понижением температуры. Вопрос этот требует изучения.

В отношении реакции Белля можно сказать, что охлаждение стенок шахты будет способствовать ее развитию в том случае, если охлаждение будет снижать температуру больших объемов кладки до $400-600^{\circ}$. В целях противодействия развитию реакции Белля, необходимо давать такую интенсивность охлаждения, чтобы объем укладки шахты при наличии температуры $400-600^{\circ}$ был минимальным. Указанное можно обеспечить расположением холодильников в шахте.

Охлаждение шахты будет способствовать понижению зоны выделения цинка, что нельзя признать желательным.

Пропитывание кирпича легкоплавкими щелочными соединениями будет при охлаждении кладки значительно уменьшаться, что способствует ее лучшей сохранности и продолжительной службе.

Главный смысл применения охлаждения шахты заключается в придании ей лучшей устойчивости, при этом холодильники играют роль опорных кронштейнов. Точно также наличие горизонтальных холодильников, расположенных в шахматном порядке, препятствует износу шахты, устраняя своими выступами за кладку соприкосновение газов непосредственно с кладкой и способствует получению на поверхности кладки предохранительного слоя гарнисажа, устойчивости которого сильно помогают концы холодильников, выступающие за кладку.

Надобность в охлаждении шахты по всей ее высоте является особенно необходимой при бутылкообразном профиле доменной печи.

Нормальный профиль требует охлаждения только в нижней части шахты.

5. Влияние размера колоши на износ шахты

Поскольку размер колоши сильно сказывается на развитии периферийного потока газов, то величина колоши оказывает влияние на износ кладки шахты. При всех прочих равных условиях в отношении профиля печи, характера про-

плавляемых материалов, устройства засыпного аппарата и др., уменьшение величины колоши будет всегда связано с уменьшением сопротивления проходу газов в центральной части печи, что будет уменьшать периферийный поток газов. Так как уменьшение скорости периферийного потока газов будет уменьшать износ кладки, то уменьшение величины колоши будет способствовать увеличению продолжительности службы стенок шахты. Указанное обстоятельство имеет большое значение при бутылкообразном профиле доменной печи, когда приходится особо заботиться об уменьшении периферийного потока газов. Таким образом малая колоша способствует удлинению кампании доменной печи и применение ее во всех тех случаях, когда это не вызывает повышения расхода горючего, следует рекомендовать.

6. Влияние качества проплавляемых материалов на износ шахты

Чем лучше проницаемость рудных линз в доменной печи, тем равномернее распределяется поток газов по сечению. Работа на подготовленных к плавке рудах с отесанной мелочью и на агломерате способствует равномерному распределению газов потока по сечению, при всех условиях уменьшает периферийный ход газов, а следовательно, способствует уменьшению износа кладки шахты и увеличению кампании доменной печи.

Труднотопящий кокс, выжженный при высоких температурах, обладает большими абразивными свойствами, а поэтому работа на нем сильнее изнашивает шахту по сравнению с легкогорючим коксом, выжженным при умеренных температурах и имеющим меньшую абразивную способность.

7. Влияние распределения дутья по фурмам на износ шахты

Увеличение поступления дутья на какие-либо фурмы по тем или другим причинам приводит к увеличению над этими фурменными очагами мощности газового потока и скорости газов у стенки шахты. Это увеличение скорости усиливает износ шахты над теми фурменными очагами, куда поступает большее количество дутья. Износ шахты имеет характер односторонней выемки, которая углубляется с увеличением скорости газов и сама способствует увеличению скорости. Причина одностороннего износа заключалась в неравномерном распределении дутья. Таким образом равномерный износ стенок шахты по окружности и устранение прогрессирующего одностороннего выжелабливания может быть достигнут равномерным распределением дутья по фурмам доменной печи.

8. Влияние на износ шахты качества кирпича и кладки

Вопрос технических условий на доменный шамотовый кирпич и мертели для кладки шахты уже был детально рассмотрен [2, §§ 17, 18, 19, 21]. Необходимо еще раз подчеркнуть, что кирпич для шахты должен иметь хорошие механические качества, обеспечивающие сопротивление истиранию материалами, износу пескоструйным действием газа с высокой скоростью, выветриванию и газопроницаемости.

Для обеспечения поставки высококачественного кирпича для кладки шахты существующие технические условия необходимо дополнить в отношении норм истирания коксом, износа выветриванием и истиранием газами, содержащими абразивную пыль, а также в отношении газопроницаемости. Значение газопроницаемости велико не только по отношению к развитию реакции Белля, но также и по отношению к износу выветриванием.

Дополнение технических условий дает возможность наметить изменение в технологии производства шамотового кирпича, обеспечивающие повышение стойкости кладки шахты.

Требования в отношении сопротивления кирпича, идущего для выкладки шахты, должны быть увеличены. Кирпич для шахты не должен давать малейшего развития реакции Белля, а поэтому необходимо шире практиковать для изготовления доменного припаса прессования под вакуумом, обжиг при высо-

кой температуре и восстановительный, обеспечивающий связывание окислов железа в силикатные формы.

Плотность кладки имеет существенное значение для обеспечения непроницаемости швов для газа, а поэтому необходимо при возведении кладки обеспечивать толщину швов не более 1 мм. Мертель для кладки должен быть свободен от окислов железа во избежание развития в швах реакции Белля. Лучше всего при кладке шахты применять кремнистые высокотемпературные цементы. В мертелях для кладки нельзя допускать содержания закиси железа выше, чем 0,5—0,6%, тогда развитие реакции Белля в швах будет устранено.

§ 13. Охлаждение шахты доменной печи

1. Тонкостенная шахта с поверхностным охлаждением

Плохая эффективность поверхностного охлаждения толстостенной кладки шахты привела к применению конструкции шахты, изображенной на фиг. 94.

Кладка шахты в этом случае делается в полуторный кирпич толщиной 345 мм и охлаждается поливанием водой из брызгал, расположенных в верхней части шахты. Направляющие козырьки обеспечивают хорошее омывание кожуха.

При эксплуатации тонкостенные шахты с поверхностным охлаждением не выявили каких-либо преимуществ перед толстостенными, а поэтому не получили сколько-нибудь широкого распространения.

Поверхностное охлаждение не обеспечивало от быстрого износа кладку нижней части печи на протяжении даже первых нескольких месяцев ее работы; кладка шахты обваливалась и доменная печь работала на кожухе, покрытом гарнисажем.

Так как гарнисаж на кожухе шахты не имел точек опоры, а вследствие этого является неустойчивым, то при его сползании нагревался и коробился кожух, что вело к расстройству заклепочных соединений и к попаданию воды в доменную печь. Засорение козырьков пылью и неудобство их очистки представляло большие трудности в обслуживании. Большие трудности также вызывало обеспечение равномерного поливания кожуха водой по всей окружности. Работа доменных печей оказалась весьма неэкономичной.

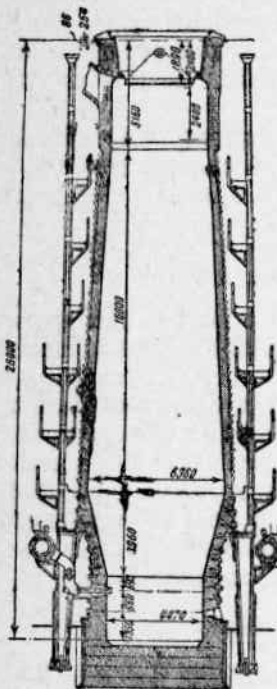
Много лучшие результаты могли бы быть получены при поверхностном охлаждении тонкостенных шахт вертикальными холодильными плитами, установленными за кожухом. Но и в этом случае рассчитывать на длительное сохранение кладки совершенно не приходится, и работа доменной печи будет вестись

на гарнисаже, покрывающем холодильник. Так как износ или обвал тонкостенной кладки шахты связан с расширением поперечных размеров профиля, то это приведет к увеличению периферийного хода газов и к повышению расходов горючего, т. е. к неудовлетворительности экономическим показателям доменной плавки.

Во избежание обрыва холодильных плит от кожуха их крепление целесообразно делать болтами с головками в виде ласточкина хвоста.

2. Шахта системы Бургерса

Невысокие температуры в шахте доменной печи позволяют ограничиться устройством кожуха из чугунных плит, стянутых между собой болтами и скре-

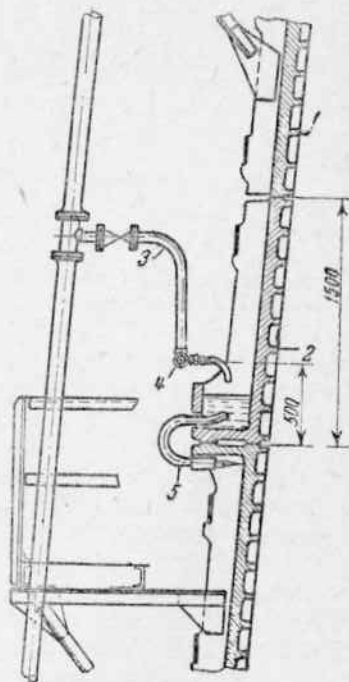
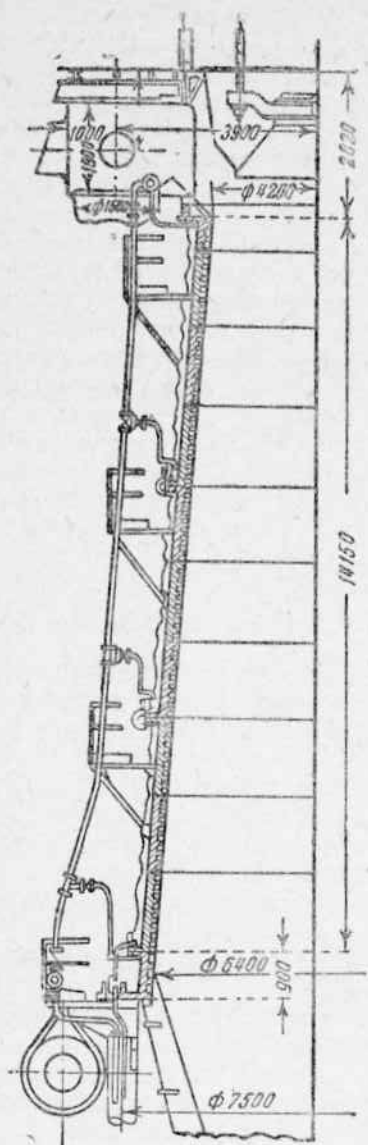


Фиг. 94. Тонкостенная шахта с поверхностным охлаждением.

пленных бандажами. Такая конструкция шахты предложена Бургерсом в 1899 г. и находила лет 30 назад довольно широкое распространение на некоторых заводах Европы и Америки. В Советском Союзе шахты Бургерса были применены на старых доменных печах Макеевского завода, из которых последняя была выдута в 1936 г.

Устройство шахты по системе Бургерса приведено на фиг. 95. Шахта состоит из ряда поясов высотой 1,5 м каждый. Отдельные сегменты пояса снабжаются фланцами и сбалчиваются между собой.

Толщина плит делается 60—80 мм, плиты снабжаются выступами, в которые при отливке закладывается кирпич по его толщине. Благодаря наличию выступов гарнисаж, образующийся на кирпиче, хорошо удерживается от оползания вниз, что весьма желательно. Ох-



Фиг. 95. Шахта Бургерса: слева — вид устройства системы охлаждения; справа — узел системы охлаждения шахты (1 — сегмент шахты; 2 — сегмент шахты с водосборным корытом; 3 — подвод воды; 4 — кольцевая труба $d = 50$ мм; 5 — перепускная трубка $d = 40$ мм).

лаждение шахты Бургерса производится поливанием водой из брызгал, причем по высоте шахты делается несколько водосборных корыт, устройство которых вместе с перепускными трубками видно на фиг. 95, справа.

Эксплуатационные недостатки шахты Бургерса сводились главным образом к образованию трещин на плитах, что нередко вызывало нарушение герметичности и попадание воды в печь. Отмечены также большие потери тепла на лучеиспускание и охлаждение по сравнению с толстостенными шахтами на 5—8% по тепловому балансу, что увеличивает расход горючего.

Значительные препятствия распространению шахты Бургерса оказала ее дороговизна, вызываемая необходимостью механической обработки фланцев сегментов и довольно сложной конфигурацией отливок.

Успешность службы шахты Бургерса в значительной степени зависит от профиля доменной печи. При печах нормального профиля применение шахты Бургерса было возможно и не вызывало затруднений в эксплуатации. При печах бутылкообразного профиля с развитым периферийным потоком газов устойчивость шахты Бургерса будет далеко неудовлетворительной.

На фиг. 96 приведено видоизменение шахты Бургерса, проведенное на одной из доменных печей американского завода. В этой шахте предусмотрена кладка толщиной 229 мм (нормальный кирпич), а плиты выполнены гладкими без ребер, в результате чего после износа кладки гарнисаж не мог удерживаться на плитах и они нагревались, давая трещины. Такая конструкция шахты оказалась неудачной и распространения не получила.

3. Шахта, предложенная автором

Для современных доменных печей, форсированно работающих и имеющих в большинстве бутылкообразный профиль, рекомендовать применение шахты Бургерса в том виде, в каком она была

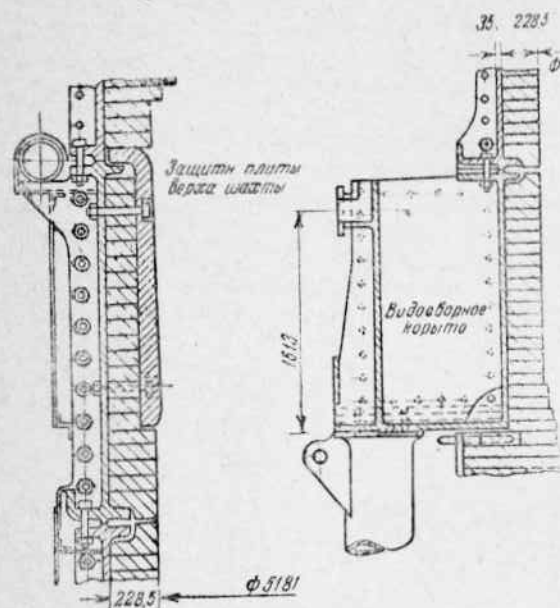
предложена, не приходится, однако продолжительная служба шахты Бургерса и неизменяемость на протяжении кампании печи профиля заставляют и в настоящее время проявлять интерес к этой почти вышедшей из применения конструкции.

На фиг. 97, автор предлагает вниманию и обсуждению производственных кругов видоизменение шахты Бургерса, которое, по его мнению, заслуживает применения. Предлагаемая конструкция состоит из вертикально-горизонтальных холодильников с выступающими выступами в нижней части и из вертикальных холодильников с выступами, в которые заложены при отливке кирпичи в средней и нижней части шахты. В горизонтальных фланцах холодильники стягиваются солидными железными бандажками, натянутыми при помощи двойных клиньев.

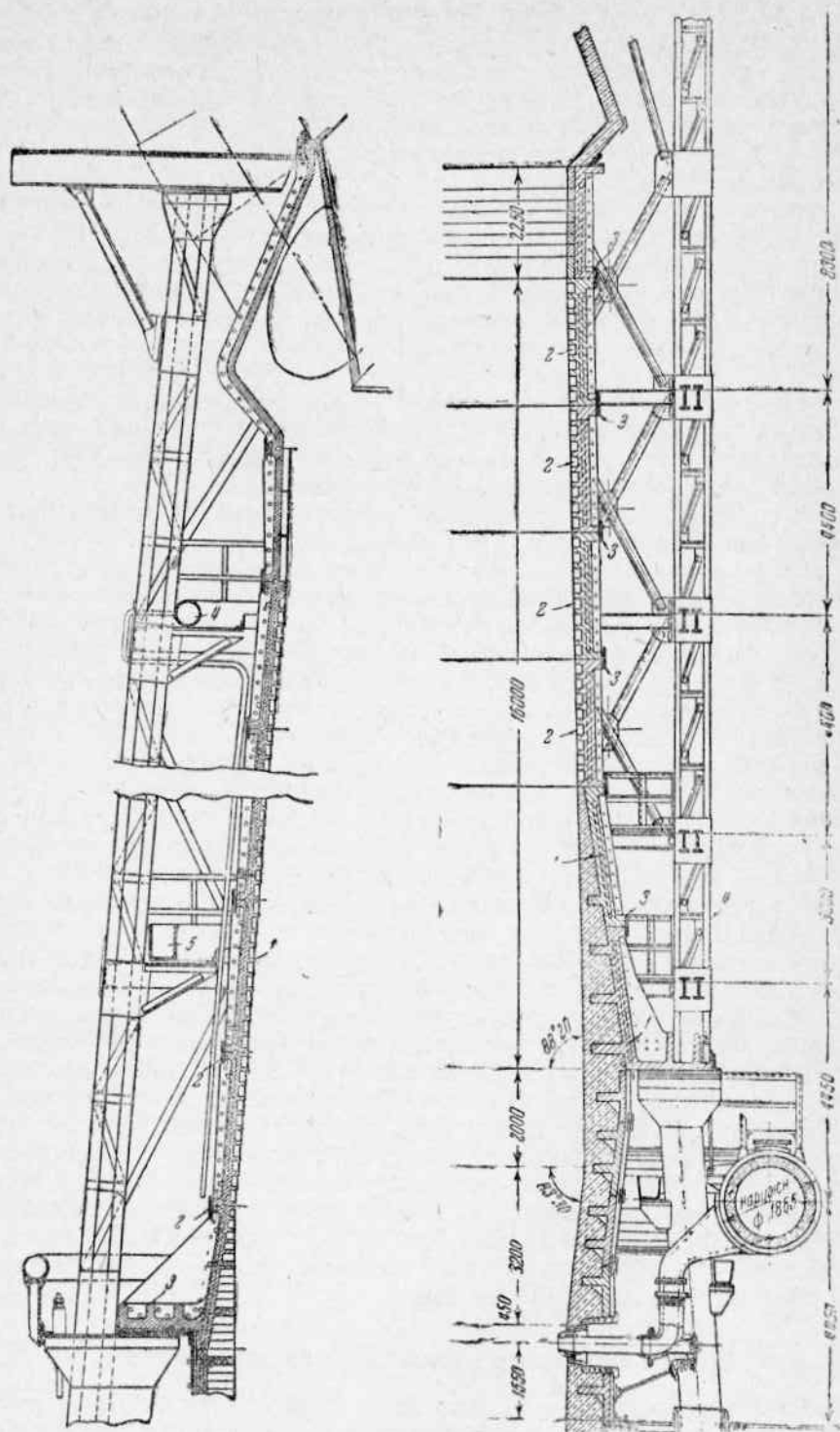
Вода в трубки холодильников подается под давлением 3—4 ат, т. е. обеспечивает хорошее охлаждение плит, гораздо более интенсивное, чем это имеет место в шахте Бургерса. Уплотнение фланцев обеспечивается закладкой в выточки фланцев мягкой железной трубки диаметром $\frac{1}{4}$ ".

На фиг. 97, слева показана кладка, охлаждаемая вертикально-горизонтальными холодильниками только в распоре, а на фиг. 97, справа охлаждение поднято выше в среднюю часть шахты, что следует считать рациональным. Шахту описанной конструкции можно рекомендовать, например при проплавке цинксодержащих руд, которые при кирпичной кладке дают в верхних частях шахты настыли из окиси цинка, цементирующей коксовую и рудную мелочь.

При шахте предлагаемой конструкции настель не будет налипать на чугунные холодильники, так как сцепление с чугуном будет отсутствовать. В Западной Сибири имеются значительные запасы цинксодержащих руд, которые, надо



Фиг. 96. Часть тонкостенной шахты печи № 7 завода Иллинойс Стилл К°.



Фиг. 97. Шахта с охлаждением вертикальными и вертикально-горизонтальными холодильниками: слева — вариант I (1 — типовой сегмент шахты; 2 — бандаж; 3 — опорное кольцо нижнего сегмента; 4 — подводящая кольцевая труба; 5 — водосборное корыто); справа — вариант II (1 — сегменты вертикально-горизонтальных холодильников; 2 — сегменты вертикальных холодильников; 3 — бандаж крепления; 4 — колонна под колошниковую площадку).

полагать, вполне возможно перерабатывать в шахтах предлагаемой конструкции, особенно если предусмотреть на доменных печах засыпные аппараты с загрузкой двумя регулируемым по желанию в весовом отношении кольцами. Такие засыпные аппараты позволяют время от времени создавать периферийный поток горячих газов и удалить полностью и те небольшие цинксодержащие образования, если они и будут вопреки ожиданиям получаться на залитых в чугунное тело холодильника кирпичач.

Сохранение профиля, достигаемое при шахте описанной конструкции, дает основание рассчитывать на выгодную и экономичную работу. Бояться получения трещин на холодильниках не приходится, так как в зоне высоких температур может быть выполнена кладка, охлаждаемая вертикально-горизонтальными холодильниками. Само собой разумеется, что окончательно этот вопрос может выяснить только эксперимент, к проведению которого имеются большие основания.

В целях удешевления и упрощения устройства нами предложена Кузнецкому заводу для проплавки цинксодержащих руд конструкция тонкостенной шахты с вертикально-горизонтальными холодильниками и кожухом, что позволяет ставить охладительные плиты без обработки.

На фиг. 98, а показано предложенное переустройство доменной печи для проплавки цинксодержащих железных руд.

В распоре и нижней части печи, где имеют место высокие температуры, делается огнеупорная кладка и устанавливаются вертикально-горизонтальные холодильники, прикрепленные к кожуху болтами, имеющими для обеспечения надежности крепление головки в виде ласточкина хвоста (фиг. 98, б).

Выше этого пояса вокруг кожуха устанавливаются вертикальные холодильные плиты, имеющие с внутренней стороны кирпичи, расположенные в шахматном порядке и залитые при отливке (фиг. 98, в).

В верхней части кладки шахты холодильные вертикальные плиты предохраняются от разбивания падающими из засыпного аппарата материалами, стальными футеровочными плитами, которые вместе с холодильниками прикрепляются к кожуху болтами с головкой формы ласточкина хвоста (фиг. 98, г). Зазоры между холодильником и кожухом должны быть залиты шамотовым бетоном. Для предохранения вытекания бетона щели между отдельными холодильниками должны быть заделаны железными прокладками, а все неплотности между прокладками и холодильниками заварены или заделаны железно-цементом.

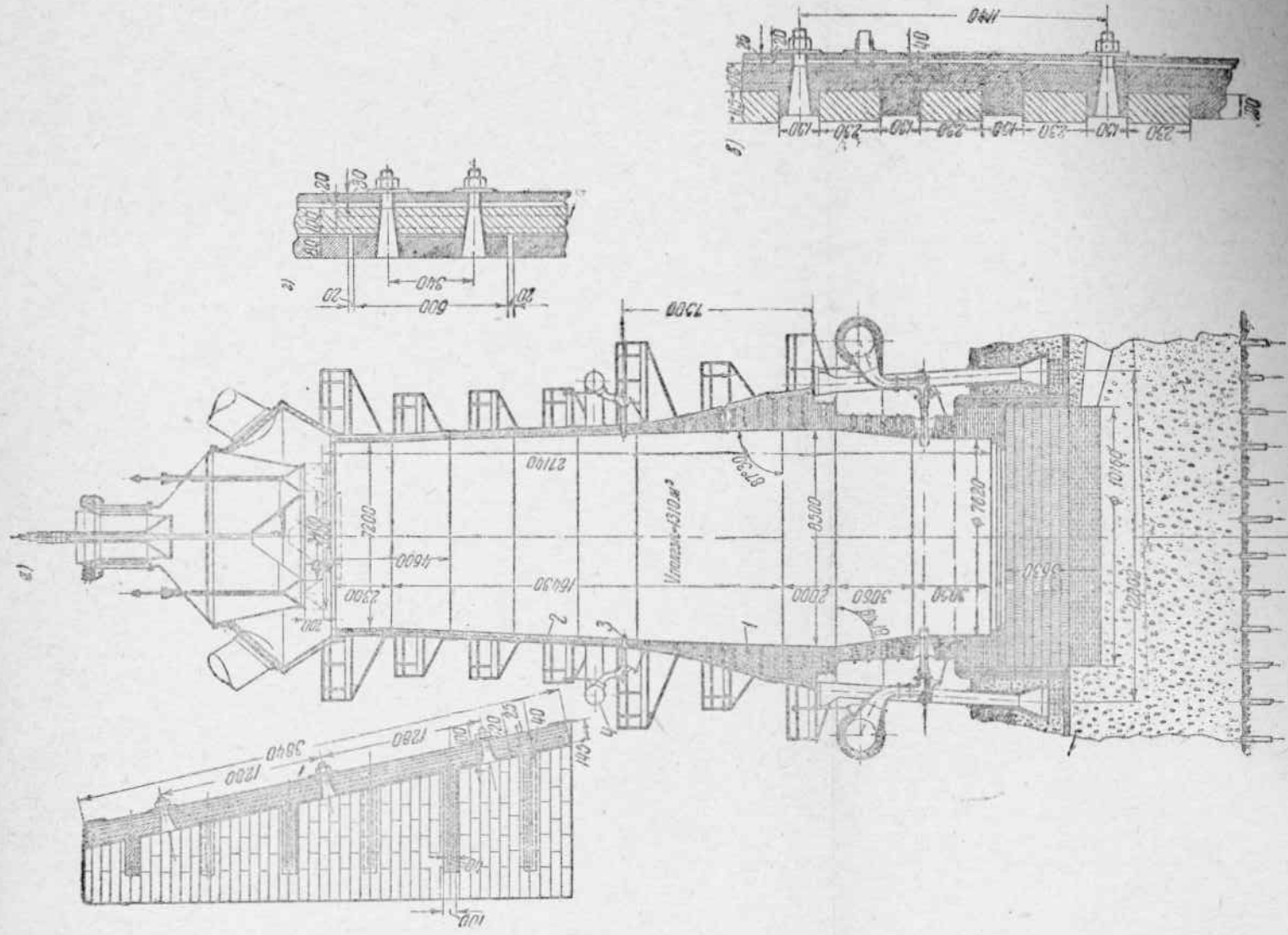
В дальнейшем при работе доменной печи, если железные прокладки выпадут, то в нижних частях образующиеся зазоры будут затянуты гарнисажем, а в верхних забьются рудной и коксовой мелочью. Нарушения герметичности при этом не произойдет, так как кожух, охлаждаемый холодильными плитами будет обеспечивать указанную герметичность. Этому поможет также заливка шамотовым бетоном всех зазоров между кожухом шахты и холодильными плитами.

При отсутствии кирпичной кладки трудно рассчитывать на образование настывей, однако в качестве дополнительного мероприятия по борьбе с настывями может быть предусмотрен подвод холодного дутья в среднюю часть шахты.

Профиль доменной печи должен быть нормального типа с диаметром колошника примерно равным диаметру горна во избежание периферийного хода избыточно нагретых газов около стенки печи.

4. Шахта с охлаждением вертикальными холодильными плитами

На фиг. 99 представлена толстостенная шахта с охлаждением вертикальными холодильными плитами, примененная на нескольких доменных печах Магнитогорского завода. Как видно из чертежа, холодильники установлены по всей высоте шахты, включая коническую часть колошника. Типовой холодильник приведен на фиг. 100. Толщина холодильника 85 мм, выступов — 60 мм. Каждый холодильник делается размером около 1,5 × 1,5 м и прикрепляется к кожуху шестью болтами. Поверхностное охлаждение, хотя и интенсивное, однако



Фиг. 98. Проект переустройства доменной печи Кузнецкого завода для выплавки цинка, содержащих полезных руд:

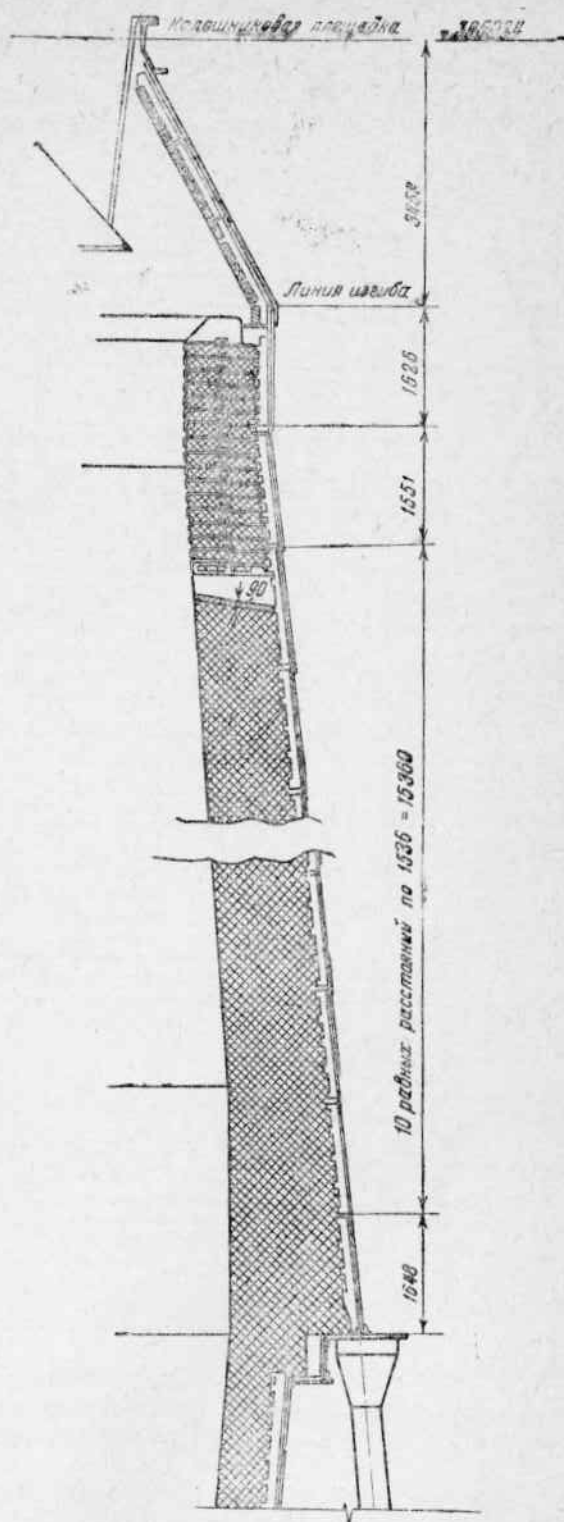
а—разрез печи; *б*—узел крепления вертикально-горизонтальных холодильников; *в*—узел крепления холодильных плит верхней части шахты; *г*—узел крепления предохранительных плит колошника (*1*—сегменты вертикально-горизонтальных холодильников; *2*—сегменты вертикальных холодильников; *3*—фурмы запасные для удаления настилов; *4*—кольцевая воздухораспределительная труба для запасных фурм).

не гарантирует кладку шахты от износа и, как показала практика одного из наших заводов, при бутылкообразном профиле с развитым диаметром горна, кампания доменной печи при таком устройстве шахты в лучшем случае не превышает 3—4 лет. В конце кампании доменная печь работает вследствие сильного искажения профиля с расходом горючего 1,5 вес. ед. и выше на одну весовую единицу чугуна, что экономически крайне невыгодно и сильно снижает производительность. После износа кладки гарнисаж удерживается на выступах холодильников, но с течением времени головки болтов отгорают, и холодильники, иногда еще непрогоревшие, увлекаются вниз. Наблюдалось также получение на холодильниках местных прогаров и трещин, что вызывало попадание воды в печь. Так как поверхностное охлаждение вертикальными холодильниками совершенно не обеспечивает сохранения профиля доменной печи, то применение этой конструкции холодильников для охлаждения толстостенной шахты не достигает цели и не может быть признано технически целесообразным.

При тонкостенной шахте применение вертикальных холодильников может считаться логичным потому, что после износа кладки расширение профиля не будет таким большим, как при толстостенной. Небольшое расширение профиля хотя и усилит периферийный ход газов, но все же позволит работать со сравнительно небольшим перерасходом горючего.

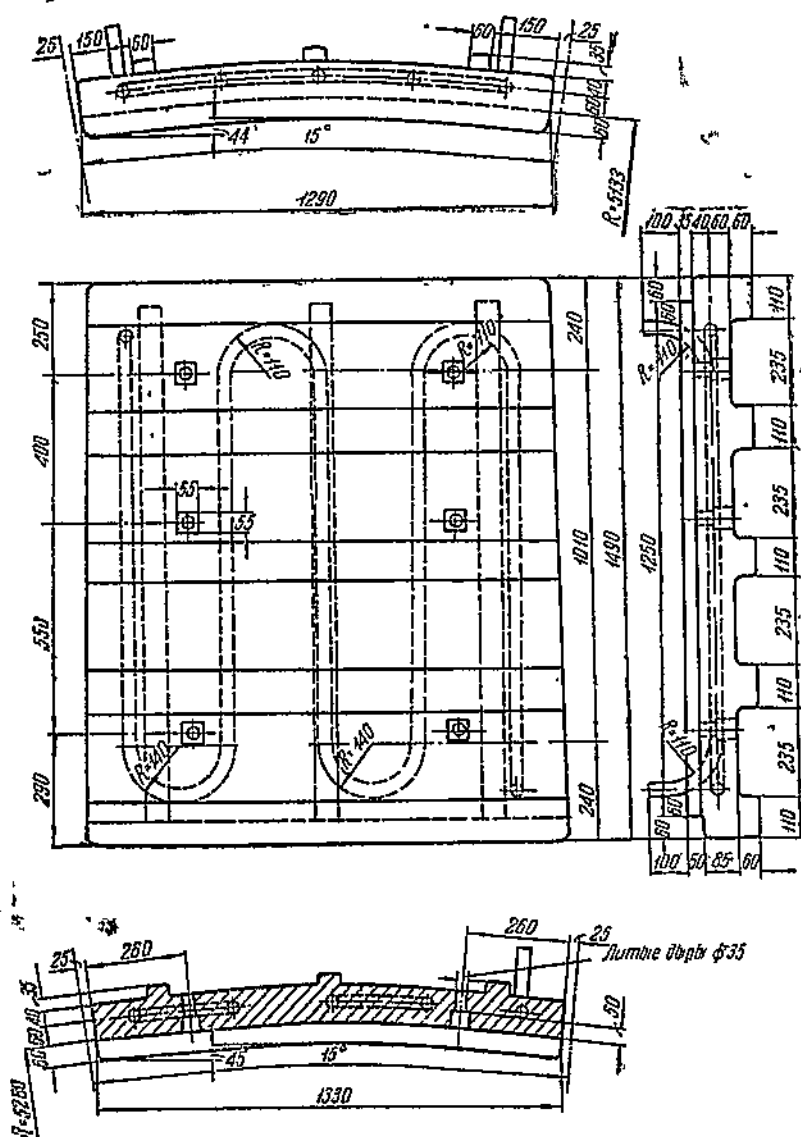
5. Шахта с охлаждением горизонтальными холодильниками

Большим преимуществом такого охлаждения является сохранение профиля доменной печи на протяжении кампании, так как оно предохраняет шахту от износа. По сравнению с заплечиками условия работы холо-



Фиг. 99. Шахта с охлаждением доменной печи вертикальными холодильными плитами.

дильников в шахте доменной печи много благоприятнее. Только при бутылкообразном профиле и при сильно развитом, периферийном ходе газов можно наблюдать в нижней части шахты образование чугуна, но в таких небольших количествах, что прогорание холодильников по причине попадания на них жид-



Фиг. 100. Типовой холодильник для шахты печи.

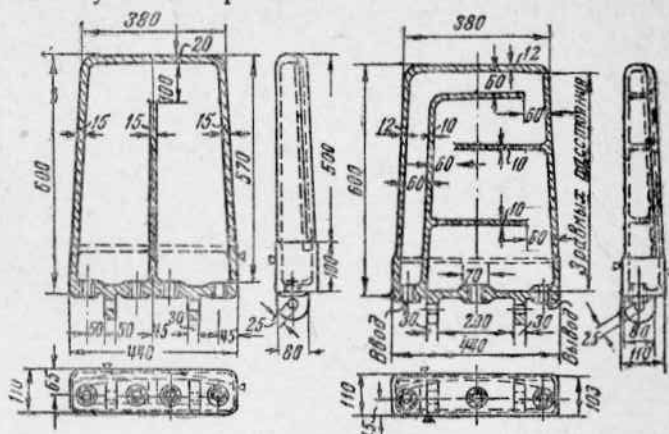
кого чугуна в шахте — явление чрезвычайно редкое. Горизонтальные холодильники в шахте изнашиваются главным образом от трения сходящих материалов. Сказывается также на их работе большая разница температур и омывание при сползании гарнисажа потоком горячих газов. Наилучшее охлаждение шахты достигается горизонтальными коробчатыми медными холодильниками, устройство которых аналогично применяемым для заплечиков.

На фиг. 101 приведены типичные холодильники для шахты, изготовленные из медного литья. Холодильники с одной продольной стенкой следует предпочесть холодильникам с поперечными стенками, так как они меньше засоряются и легче очищаются от грязи и накали.

Весьма практичный тип медного коробчатого холодильника с двойным охлаждением приведен на фиг. 102. Этот холодильник после прогорания внешней охлаждающей коробки может продолжать работать до планово-предупредительного ремонта, когда его можно заменить новым. Весьма часто такие холодильники оставляют в работе до прогорания внутренней секции охлаждения, что бывает редко.

При холодильниках с двойным охлаждением очень часто надобность в смене отпадает, так как они успешно служат на протяжении всей кампании печи.

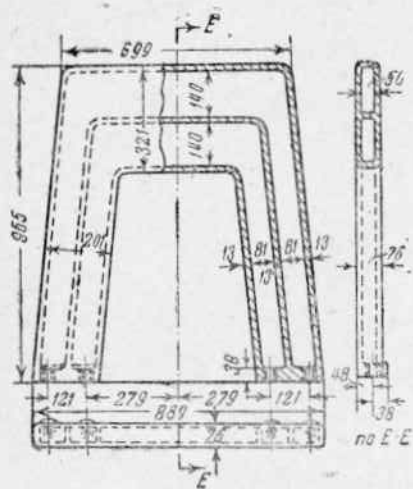
В целях удешевления в доменной практике находят применение чугунные горизонтальные плитовые холодильники с залитыми трубками. На фиг. 103 приведен сменяемый плитовой холодильный аппарат из чугуна, который может применяться для охлаждения шахты. Эффективность его охлаждения много меньше медного, но, имея в виду желательность экономии меди, в ряде случаев можно ограничиться постановкой в шахту чугунных холодильников.



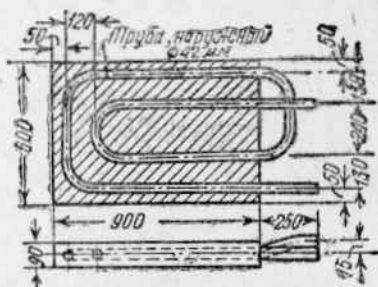
Фиг. 101. Медные литые коробчатые холодильники для шахты.

Вследствие затруднений со сменой

холодильников в шахте очень часто ставят несменяемые холодильники чугунного литья с двумя или с тремя залитыми трубками (фиг. 104). Трубки в этом случае выводятся за кожух доменной



Фиг. 102. Двойной медный литой холодильник для шахты.



Фиг. 103. Сменяемый плитовой холодильник чугунного литья.

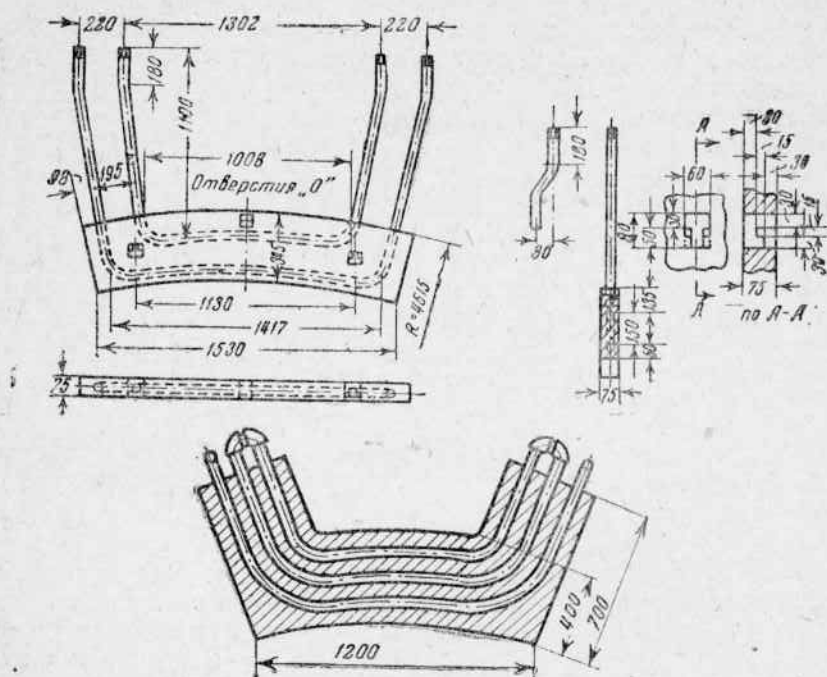
печи, а при прогорании одной из них остаются работать остальные.

Чугунные литые холодильники успешно служат и очень часто при выдувке печи можно их видеть хорошо сохранившимися.

В американской практике роль холодильника шахты иногда совмещается с кронштейном для поддержания кладки. На фиг. 105, слева приведено устройство бронзового или медного литого холодильника-кронштейна системы Эвергарда. Такие холодильники в практике многих заводов дали весьма положительные результаты. Недостатком их является то, что они не преграждают путь перифе-

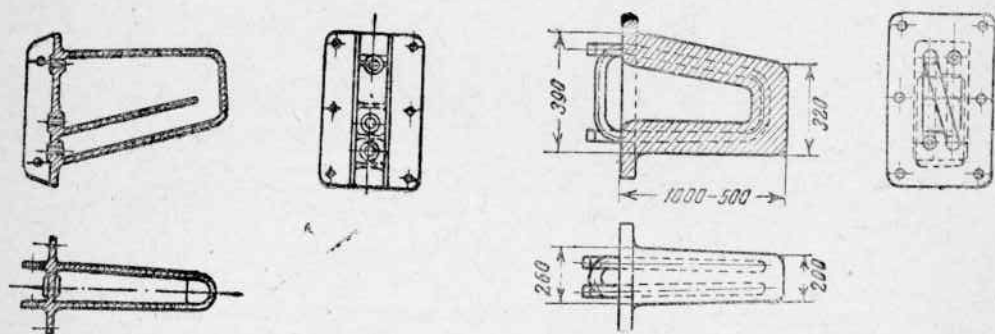
рийному потоку газов у стенки печи и, следовательно, в меньшей степени противодействуют износу, чем горизонтальные холодильники.

Холодильник-кронштейн чугуна литой с залитой трубкой, изображенный на фиг. 105, справа, успешно применяется на доменных печах отечественных заводов.



Фиг. 104. Несменяемый горизонтальный холодильник чугуна литой: сверху — с двумя трубками; внизу — с тремя трубками.

Холодильники типа кронштейна прикрепляются болтами к кожуху шахты и представляют весьма надежную опору для кладки печи, предохраняя последнюю



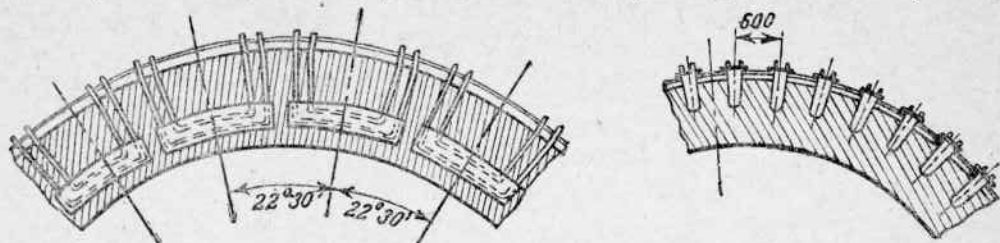
Фиг. 105. Бронзовый холодильник-кронштейн сист. Эвергарда: слева — применяемый на американских заводах; справа — применяемый на заводах СССР.

от обвала после частичного износа стенок, и настоятельно рекомендуются нами.

На фиг. 106, слева приведено расположение в плане горизонтальных чугунных холодильников, а на фиг. 106, справа — холодильников-кронштейнов. При таком расположении вполне обеспечивается интенсивное охлаждение кладки шахты.

В европейской практике находят довольно широкое распространение для охлаждения шахты доменной печи горизонтальные открытые холодильники чугуна литого. На фиг. 107 изображена кладка шахты одной доменной печи

европейских заводов с открытыми холодильниками. Смысл применения открытых холодильников заключается в возможности производить их очистку систе-



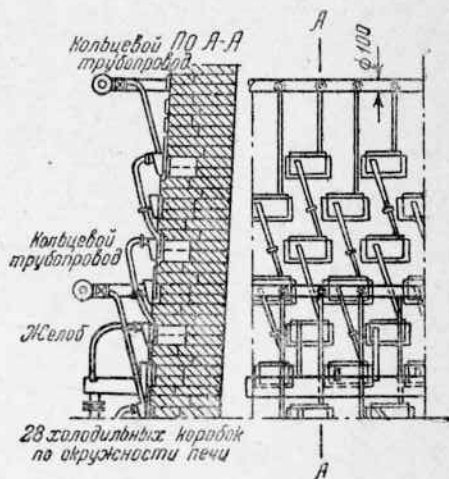
Фиг. 106. Расположение в шахте чугуных холодильников: слева — горизонтальных; справа — типа холодильников-кронштейнов.

матически, не допуская выделения из воды грязи, а следовательно, не уменьшая эффективность охлаждения.

Кроме того, при открытом холодильнике вода в него подводится без давления, что исключает в известной мере возможность попадания воды в доменную печь через трещины или прогары, образовавшиеся на холодильнике.

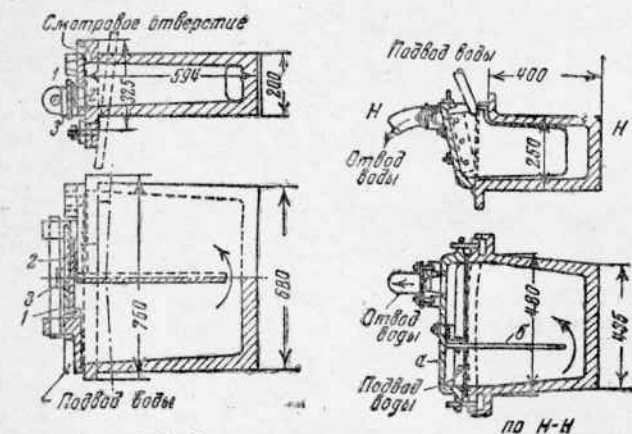
На фиг. 108, справа изображен открытый холодильник с отъемной задней стенкой, подводом воды в верхнюю часть и отводом воды сверху. Холодильник имеет перегородку, которая направляет поток воды в переднюю его часть. Ширина холодильника делается от 400 до 700 мм.

На фиг. 108, слева показан другой тип открытого холодильника, в котором для очистки отнимается не вся задняя стенка, а лишь планка 1, закрывающая отверстие 2. На планку устанавливается деревянная прокладка, прижимаемая клином 3. При этом устройстве холодильника нет необходимости отнимать всю заднюю стенку для очистки, как это имело место в холодильнике, изображенном на фиг. 108, справа.



Фиг. 107. Кладка шахты с открытыми холодильниками.

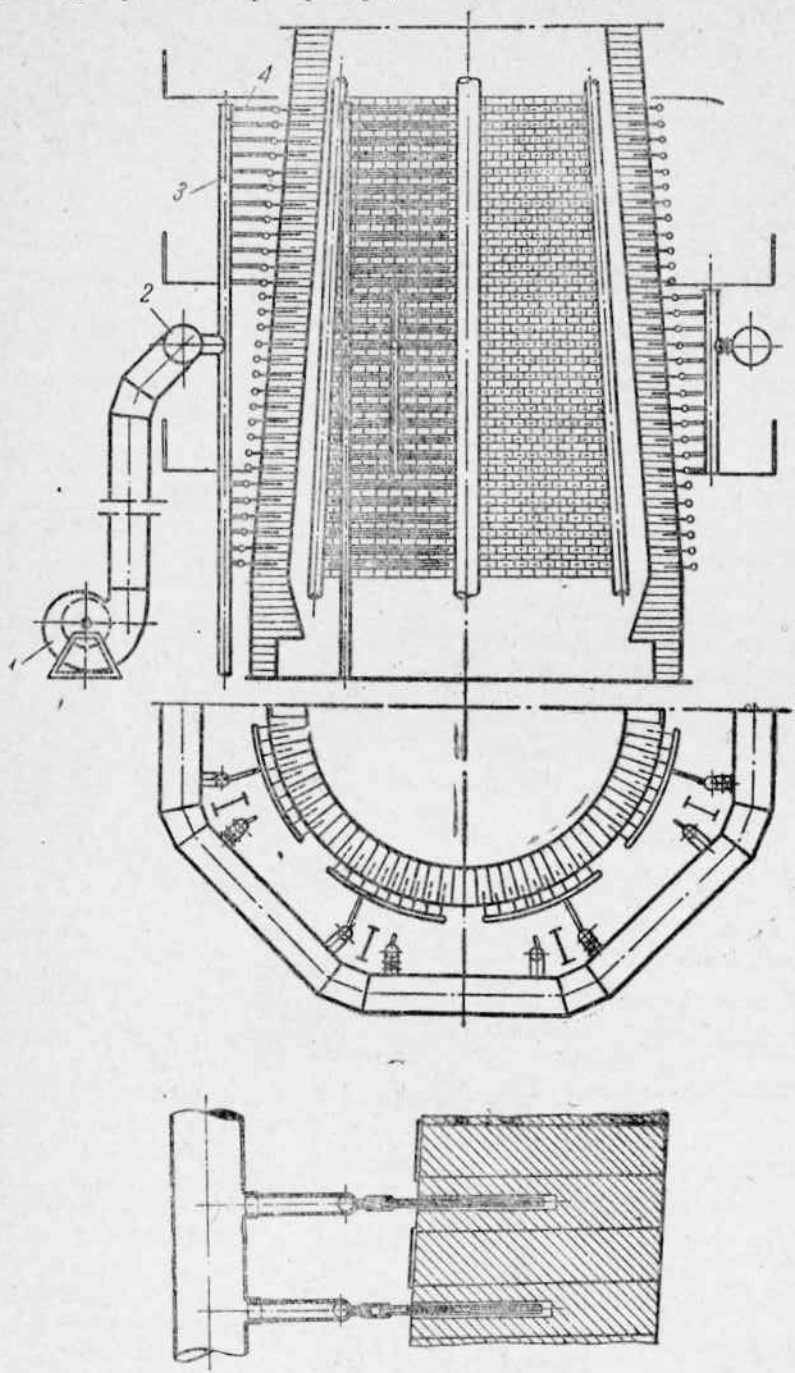
Имея в виду что шахта доменной печи, находится в благоприятных условиях в отношении температуры по сравнению с заплеками, европейская практика подтверждает, что применение открытых холодильников вполне обеспечивает хорошее сохранение профиля и успешную работу на протяжении всей кампании печи.



Фиг. 108. Чугунные открытые холодильники: слева — с отъемной стенкой; справа — с люком для очистки.

На фиг. 109, вверху показано общее устройство шахты доменной печи с воздушным охлаждением. При производительности доменной печи 300 т, для охлаждения шахты устанавливается вентилятор производительностью всего 40 000 м³ воз-

духа в час, с давлением 400 мм вод. ст. От вентилятора воздух поступает в кольцевую трубку, из которой распределяется по стенкам. От последних воз-



Фиг. 109. Воздушное охлаждение шахты на заводе Кокериль (Бельгия) — общее устройство; внизу — деталь воздушного охлаждения; (1 — вентилятор; 2 — кольцевая воздухопроводительная труба; 3 — вертикальный распределительный стояк; 4 — подвод дутья к карнизу).

дух подается в холодильники, представляющие собой железные трубки, диаметром 45 мм, входящие в отверстия в кирпичах кладки. Трубка вставляется

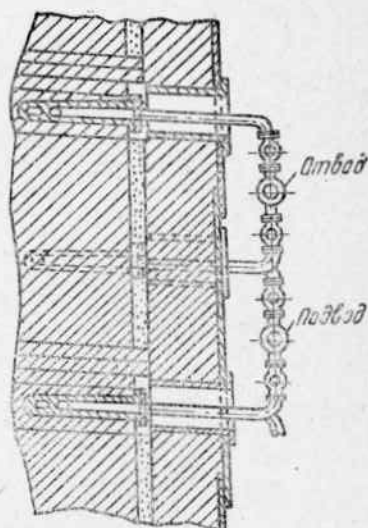
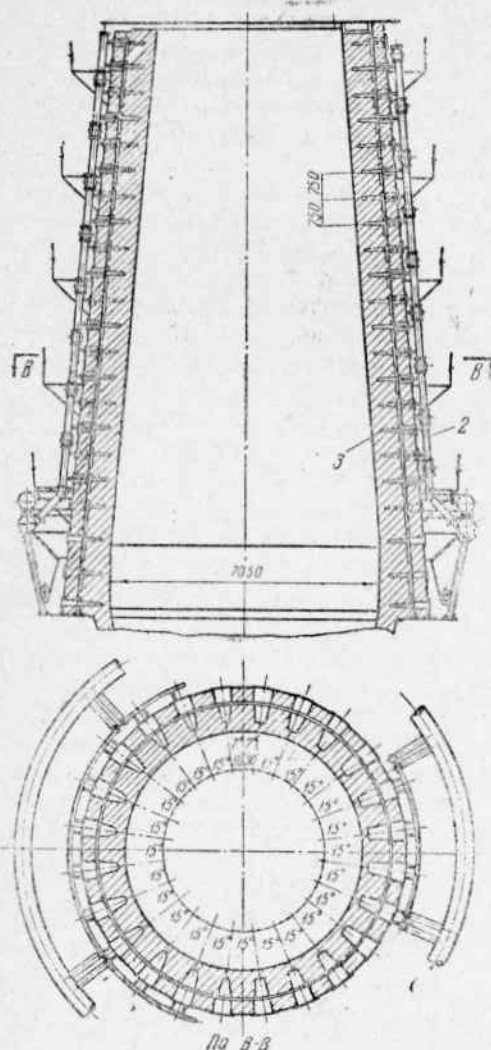
в кладку шахты на 300—400 мм. Отработанный воздух выходит наружу по кольцевой щели между трубкой и отверстием в кирпиче. Диаметр трубки 25 мм.

На печи завода Кокериль было сделано 1700 отверстий с небольшой общей поверхностью охлаждения 99 м². Для кладки шахты применен блочный кирпич большого размера с отверстиями для охлаждения.

Наблюдение за состоянием кладки на этой печи обеспечивалось при помощи 12 пирометров, вставленных в кладку на трех уровнях. Для регулировки интенсивности охлаждения имеется возможность при помощи клапанов уменьшать или вовсе выключать из системы охлаждения какую-либо часть кладки шахты.

На фиг. 109, нижний чертеж, приведена деталь подвода воздуха в отверстие в кирпиче.

Дальнейшее развитие системы охлаждения шахты доменной печи при помощи воздуха предложено инж. Гаряевым [12] в проекте (фиг. 110). По его проекту шах-



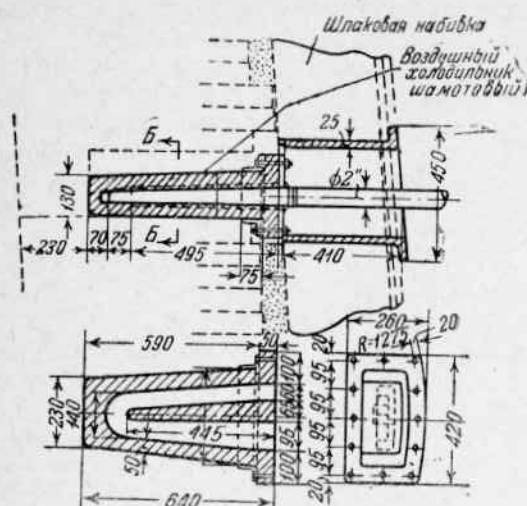
Фиг. 110. Воздушное охлаждение шахты по проекту инж. Гаряева: общее устройство и деталь воздушного охлаждения (1 — кольцевая воздухо-распределительная труба; 2 — вертикальный стояк; 3 — воздушный холодильник).

та доменной печи снабжена изоляцией толщиной 400 мм из шлаковой набивки между кожухом и кирпичной кладкой. В кирпичную кладку вставляются шамотовые или чугунные воздушные холодильники. Охлаждающий воздух подводится при помощи трубки к каждому холодильнику и отводится так же по трубкам, присоединяемым к отходящим магистралям. Детали подвода и отвода трубок холодильников показаны на фиг. 110 (нижние чертежи).

При таком охлаждении имеется полная возможность подать нагретый воздух для кауперов, что позволит таким образом использовать тепло, отнимаемое у шахты, для улучшения нагрева воздухонагревательных аппаратов.

Устройство шамотового холодильника приведено на фиг. 111, устройство чугунного холодильника — на фиг. 112.

Чугунный холодильник (фиг. 112) делается с двойным охлаждением, что позволяет после прогара или выхода из строя периферийного охлаждения работать на оставшемся внутреннем охлаждении. В случае необходимости как чугунный, так и шамотовый холодильники могут быть сменены.

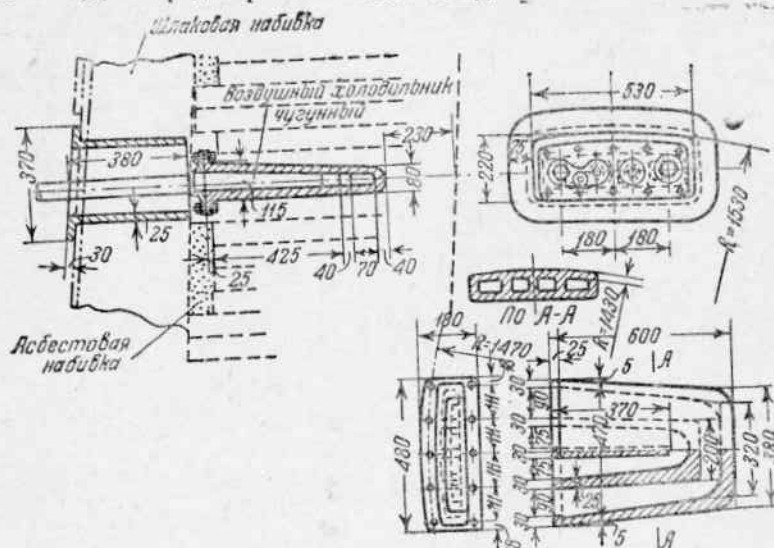


Фиг. 111. Устройство шамотового холодильника для воздушного охлаждения.

Предложение инж.Гаряева значительно улучшает систему охлаждения шахты, принятую на заводе Кокериль, а поэтому испытания предложения в практических условиях на небольших доменных печах, имеющих нормальный профиль, с небольшим развитием периферийного газового потока, представляет интерес, надо полагать, что данное устройство обеспечит достаточно интенсивное охлаждение шахты и использование при этом тепла, отдаваемого кладке шахты.

На больших доменных печах с бутылкообразным профилем, где имеет место мощный периферийный поток горячих газов, идущих около стенки печи со скоростью 100—

200 м/сек, применение воздушного охлаждения будет недостаточным, оно не в состоянии будет предотвратить износ кладки и не обеспечит сохранения



Фиг. 112. Устройство чугуниного холодильника для воздушного охлаждения.

профиля. Чугунные холодильники в нижней части шахты, а возможно, и в средней будут разогреваться докрасна и с течением времени прогорать. Что же касается шамотовых холодильников, то они будут легко изнашиваться под пескоструйным действием газового потока и выйдут из строя.

6. Охлаждение шахты при помощи вертикально-горизонтальных холодильников системы автора

Для обеспечения сохранения профиля на протяжении всей кампании доменной печи целесообразно применение горизонтальных холодильников. Вместе

с тем для сохранения кожуха шахты доменной печи при износе кладки также весьма желательно иметь охлаждение, способствующее не только большей устойчивости и герметичности кожуха, но также некоторому снижению температур кладки.

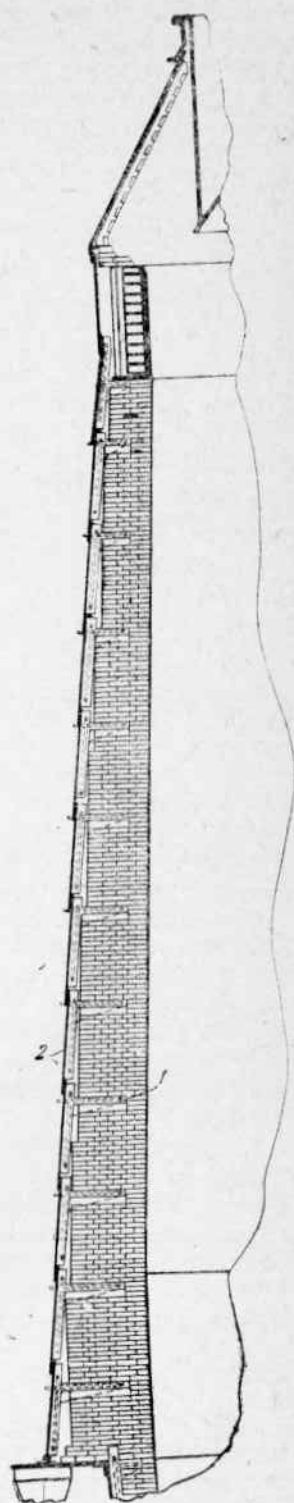
Для современных мощных доменных печей нами предлагается охлаждение шахты производить при помощи вертикально-горизонтальных холодильников, как это изображено на фиг. 113. Холодильники ставятся впритык к кожуху шахты и прикрепляются к нему болтами, имеющими головку в виде ласточкина хвоста. Горизонтальные выступы имеют две отдельные concentрически расположенные холодильные трубки, а вертикальная часть холодильника отдельно залитую V-образную трубку.

На фиг. 114 показано устройство части шахты доменной печи с установкой вертикально-горизонтальных холодильников. Горизонтальная часть холодильника может быть вдвинута в кладку шахты на желаемую глубину. Возможно горизонтальные выступы выдвинуть на толщину кладки и сделать заподлицо с кладкой. В этом случае их действие в отношении сохранения профиля будет наиболее эффективным.

Вертикально-горизонтальные холодильники целесообразно делать небольших размеров, что создаст удобство при их монтаже. На фиг. 114 приведен холодильник размером $1500 \times 570 \times 540$ мм. Под горизонтальными выступами, охлаждающими кладку шахты в глубину делается набойка из мелкого шамота, обеспечивающая возможность расширения кладки. При большом количестве горизонтальных выступов надобность в зазорах под ними отпадает. После прогара труб горизонтальных холодильников чугунные выступы будут охлаждаться от вертикальной части холодильников и продолжать играть роль холодильников с несколько меньшей охлаждающей способностью. Вертикальная часть холодильников обеспечивает охлаждение кожуха, а также, охлаждая с поверхности кладку, в известной мере способствует и ее сохранению.

При устройстве охлаждения шахты при помощи вертикально-горизонтальных холодильников особое значение имеет герметизация ввода и вывода трубок. Вывод охлаждающей трубки показан на фиг. 114. Во избежание получения на трубке трещин при выходе из холодильника на нее надевается предохранительный кожух из отрезка трубы. Отверстие для вывода трубки в кожухе шахты закрывается шайбой, которая приваривается к кожуху и к предохранительной трубке.

На фиг. 115 дан вариант охлаждения шахты при помощи вертикально-горизонтальных холодильников, с двумя рядами трубок в горизонтальной части холодильника, что увеличивает интенсивность охлаждения, а также делает выступы в механическом отношении более прочными. В этом случае горизонтальные выступы играют роль прочных опорных кронштейнов для кладки.

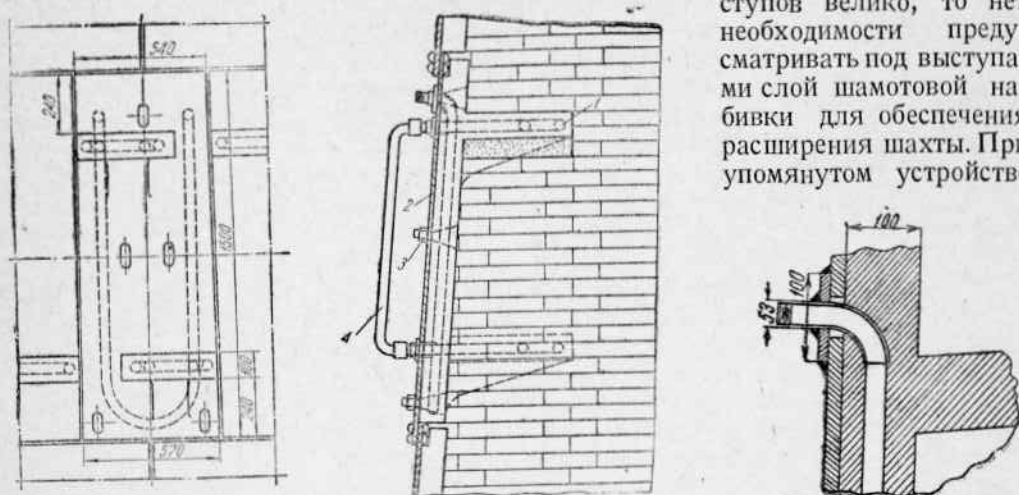


Фиг. 113. Охлаждение шахты вертикально-горизонтальными холодильниками.

Типовой вертикально-горизонтальный холодильник показан на фиг. 116; часть развертки холодильника — на фиг. 116 (средний чертеж), а деталь с выступами, расположенными в шахматном порядке, на фиг. 116 (внизу).

Каждый холодильник прикрепляется к кожуху при помощи шести болтов с головками в виде ласточкина хвоста. Так как количество горизонтальных вы-

ступов велико, то нет необходимости предусматривать под выступами слой шамотовой набивки для обеспечения расширения шахты. При упомянутом устройстве



Фиг. 114. Детали установки вертикально-горизонтального холодильника в шахте:

узел установки холодильника и вывод трубки из холодильника (1 — вертикально-горизонтальный холодильник; 2 — кожух печи; 3 — болт с головкой формы ласточкина хвоста; 4 — соединительная водопроводная трубка).

шахты кладка доменной печи полностью опирается на горизонтальные выступы холодильников, а через них нагрузка от кладки передается на кожух печи.

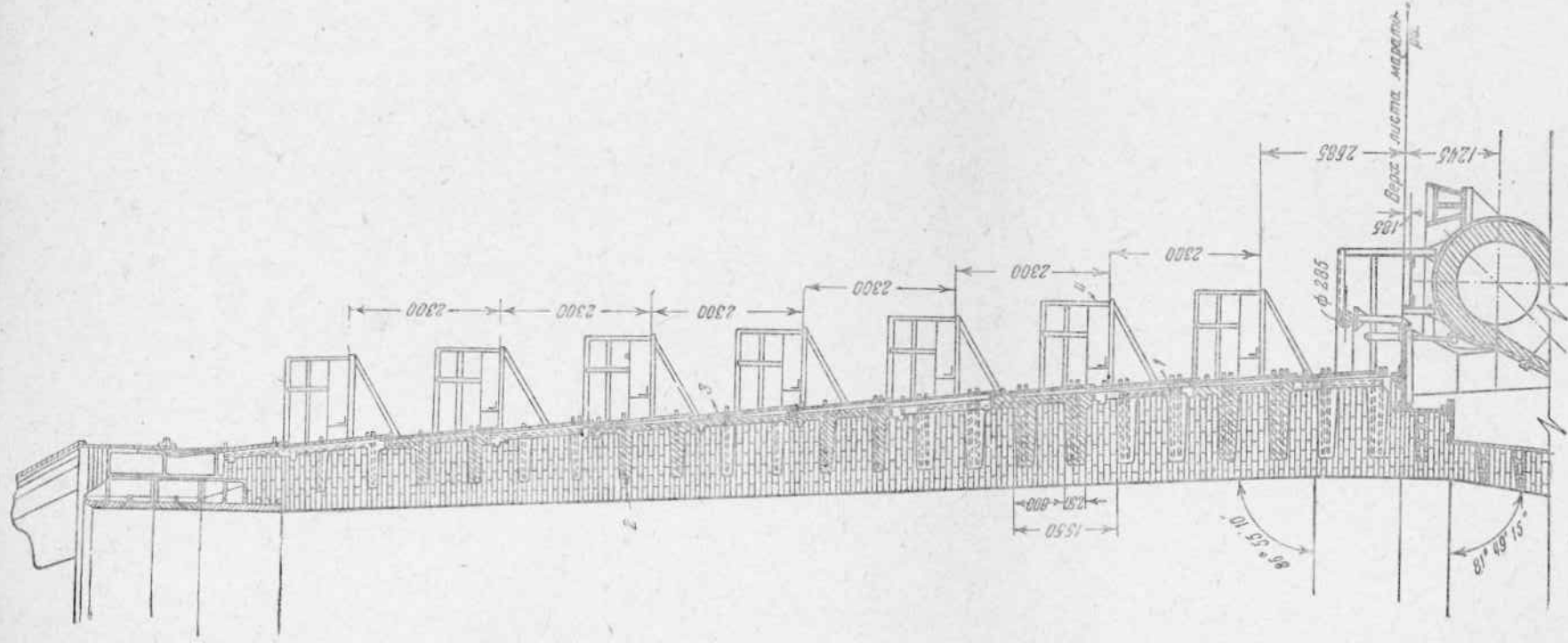
При указанном способе охлаждения шахты получается громадная охлаждающая поверхность, например для доменной печи объемом 1 300 м³ она равна 1900 м². При такой большой охлаждающей поверхности кладки шахты обеспечивается: а) сохранение профиля на протяжении всей кампании печи; б) увеличение продолжительности кампании печи (до 10—12 лет) вследствие незначительного износа шахты; в) получение устойчивого гарнисажа.

На фиг. 117 представлен вариант охлаждения кладки при помощи вертикально-горизонтальных холодильников с выступами в виде кронштейнов. Типовой холодильник с охлаждаемыми кронштейнами и детали развертки его приведены на фиг. 118.

В кронштейн заливается две трубки. Прикрепление холодильника к кожуху осуществляется при помощи восьми болтов с головками в виде ласточкина хвоста. Устройство холодильника с кронштейнами представляет собой еще более надежную опору для кладки, но охлаждающая поверхность для доменной печи — объемом 1300 м³ в этом случае меньше и составляет 920 м². Надо полагать, что и такая поверхность охлаждения обеспечит достаточно продолжительную службу кладки шахты, намного превышающую кампанию современных доменных печей.

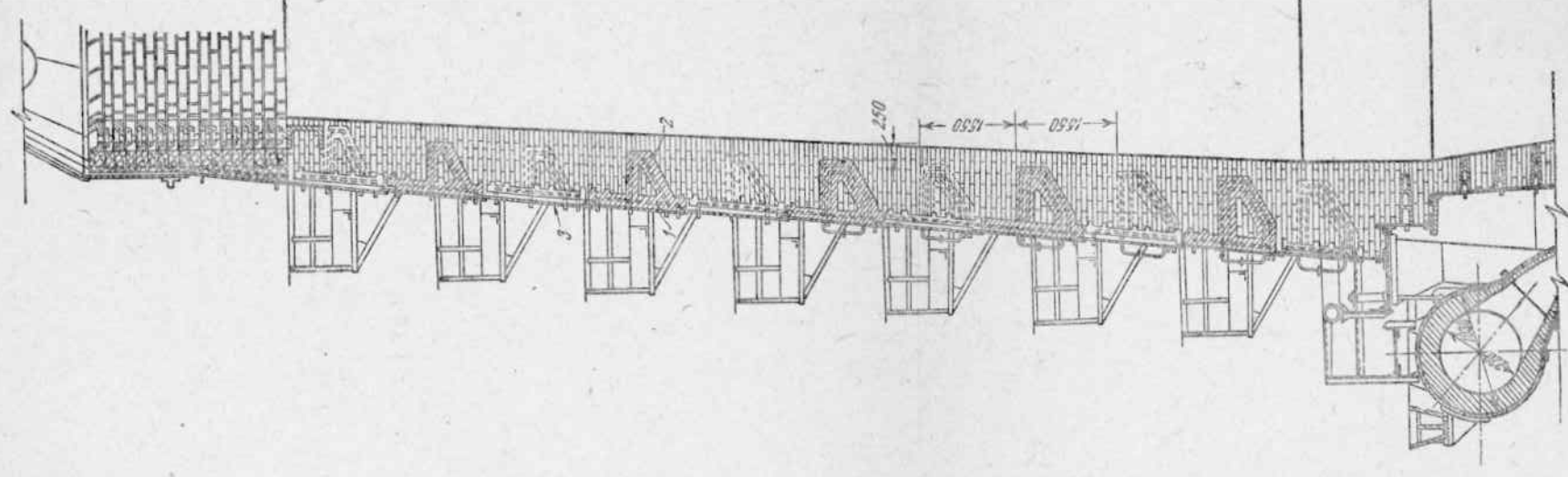
§ 14. Устройство и крепление верхней части шахты доменной печи

При ссыпании материалов из засыпного аппарата верхняя часть шахты подвергается ударам со стороны руды и горючего, что обуславливает значительный ее износ. На современной большой доменной печи за кампанию может быть загружено 5—6 млн. т руды и 2—2,5 млн. т кокса. Загрузка такого количества материалов несомненно вызовет сильный износ верхней части шахты, поэтому на устройство и крепление ее должно быть обращено самое серьезное внимание. Недостаточная прочность крепления в верхней части шахты печи приводит к из-



Фиг. 115. Устройство охлаждения шахты вертикально горизонтальными холодильниками с двумя рядами горизонтальных трубок. 1 — вертикально-горизонтальный холодильник с двойным охлаждением горизонтальных выступов; 2 — то же, что и 1, но с одинарным охлаждением горизонтальных выступов; 3 — кожух печи; 4 — площадка для обслуживания охлаждения печи.

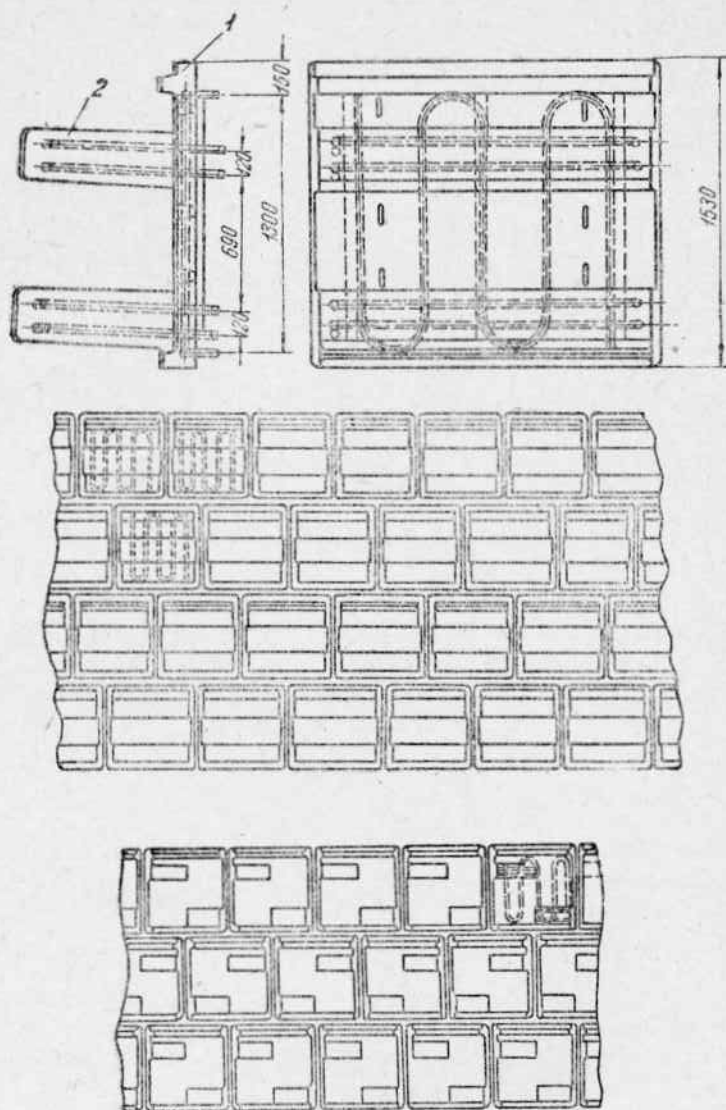
В. А. Сорокин



Фиг. 117. Устройство охлаждения шахты вертикально-горизонтальными холодильниками с выступами в виде кронштейнов: 1 — вертикально-горизонтальный холодильник; 2 — охлаждаемый кронштейн.

носу, а затем и к обвалу верха кладки шахты, что может преждевременно вывести доменную печь из строя.

Имея в виду, что при осадках в доменной печи уровень засыпи опускается на довольно большую глубину и что в таких условиях загрузку печи приходится производить на значительной глубине от нормального уровня засыпи, верхнюю часть шахты следует обеспечивать креплением на высоте 2,5—4,0 м.

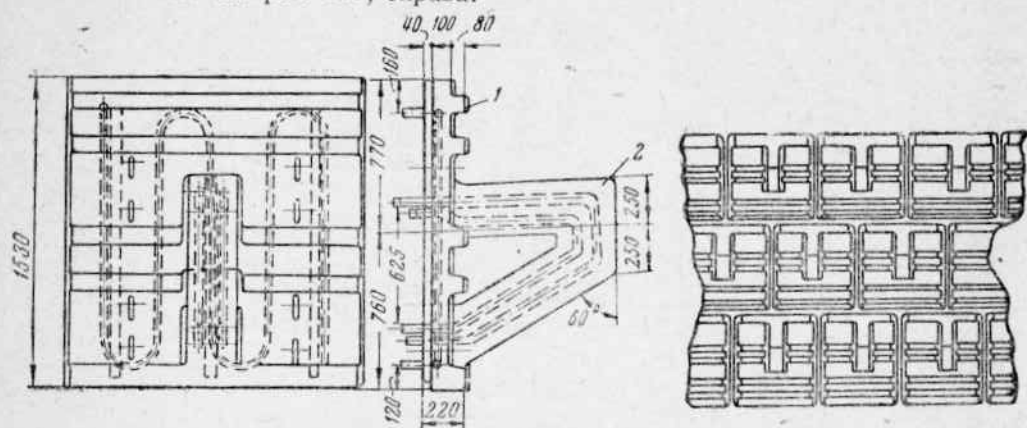


Фиг. 116. Типовой вертикально-горизонтальный холодильник: общий вид установки (вверху); деталь развертки (средний чертеж); деталь развертки с выступами, расположенными в шахматном порядке (внизу); (1—вертикальная холодильная плита; 2 — горизонтальная холодильная плита).

Опускание уровня засыпи при любых условиях работы на глубину ниже крепления не допустимо, так как в этом случае рудой и известняком, падающим из засыпного аппарата, будет сильно изнашиваться обнаженная кладка, на ней получатся большие выбоины. Систематическое опускание уровня засыпи защитного пояса нередко приводит к получению в кладке настолько больших выбоин, что кладка вместе с защитным кольцом, не имея под собой основания, обваливается, а доменная печь резко ухудшает работу и даже выходит из строя.

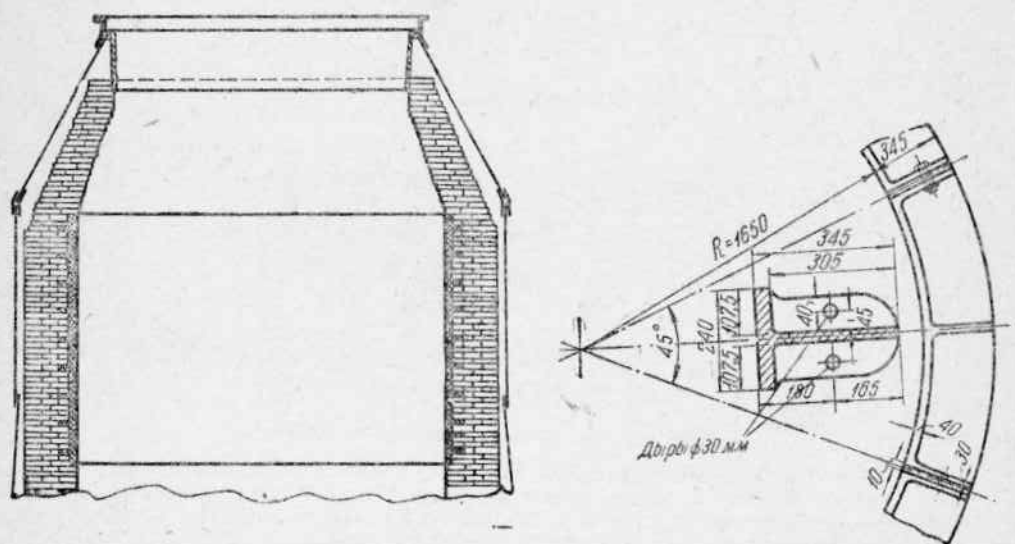
Наиболее простая защита кладки верха шахты печи обеспечивается установкой защитных чугунных колец, состоящих из небольших сегментов, сбалчиваемых друг с другом. Защитные чугунные кольца могут быть выполнены таврового сечения (фиг. 119) или имеющими форму неравнобокого уголка (фиг. 120). Толщина вертикальных стенок чугунных колец 50—100 мм, а горизонтальных — 25—50 мм.

Отдельно чугунное кольцо таврового сечения и крепление верхней части шахты показано на фиг. 119, справа.



Фиг. 118. Типовой вертикально-горизонтальный холодильник с кронштейном: слева — общий вид устройства; справа — деталь развертки (1 — вертикальная холодильная плита; 2 — охлаждающий кронштейн).

Применение для крепления шахты чугунных колец недостаточно и не обеспечивает продолжительной кампании доменной печи. С течением времени (через



Фиг. 119. Защита шахты чугунными кольцами таврового сечения: слева — общий вид установки; справа — крепление чугунного кольца.

полтора-три года работы доменной печи) чугунные кольца коробятся, разбиваются и изнашиваются настолько, что выпадают из кладки. Доменную печь приходится останавливать на ремонт верхней части.

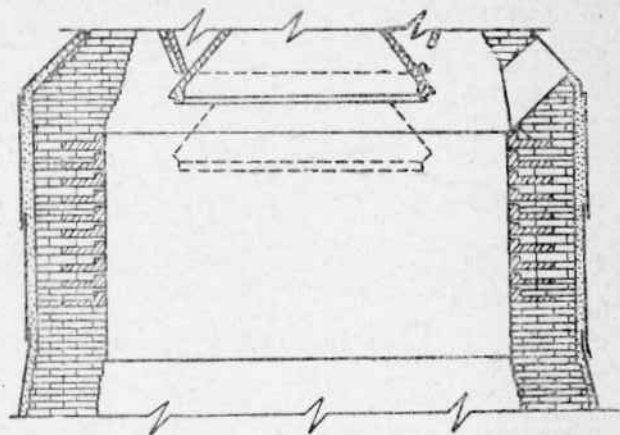
Для современных мощных доменных печей с производительностью свыше 800 т в сутки применять такое устройство нельзя.

На доменных печах одного из заводов для улучшения службы верхней части шахты доменной печи применено крепление, изображенное на фиг. 121 из массивных стальных литых плит, расположенных по вертикали в два ряда. Толщина стенок плит — 60—70 мм. Каждый ряд плит состоит из шести сболченных между собой сегментов. Такое устройство является достаточно надежным и обеспечивает продолжительную службу. Недостаток его заключается только в том, что при больших размерах стальные плиты коробятся, что с течением времени приводит к их разрушению.

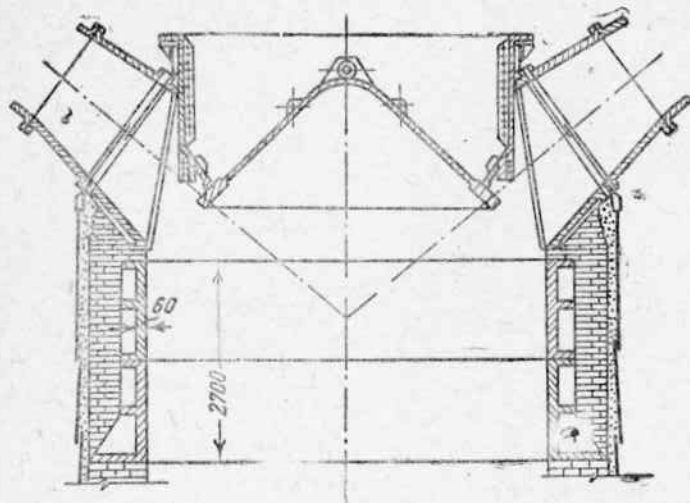
При получении под креплением выбоин эти кольца могут обвалиться, а поэтому они подвешиваются на тросах к конической части кожуха.

На второй типовой доменной печи конструкция защиты верха шахты была видоизменена в том отношении, что вместо подвешивания колец на болты к конической части шахты, применено крепление колец 1 к стальным кронштейнам 2, как показано на фиг. 122.

Устройство предохранительных плит колошника по типу второй доменной печи оказалось неудачным. Для обеспечения свободного расширения кладки между верхней частью ее и плитами оставляются зазоры, как показано на фиг. 122.



Фиг. 120. Защита кладки верха шахты чугунными кольцами, имеющими сечение уголка.

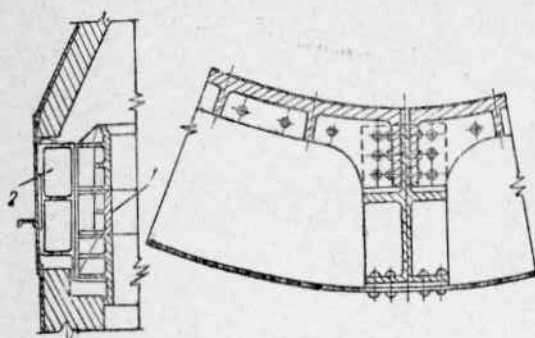


Фиг. 121. Защита верха кладки шахты доменных печей посредством плит.

При этом устройстве крепления нельзя допускать образования выбоин под предохранительными кольцами, так как при заполнении кирпичной кладкой и бетонном пространства между кольцами и кожухом оно может быть постепенно прорвано газовым потоком, что повлечет за собой при высокой температуре газа нагревание и коробление плит, а также кронштейнов, отгорание головок болтов и обрушение плит, что имело место на доменной печи № 3 завода «Запорожсталь» и др.

На фиг. 123 приведено крепление верхней части шахты первой типовой доменной печи, состоящее из мелких чугунных или стальных плит коробчатого сечения, с толщиной вертикальных стенок 100 мм. Отдельные сегменты этих плит соединяются между собой болтами. Благодаря наличию отверстий в нижней части отливок имеется возможность предохранительные плиты залить бетоном и этим превратить их в сплошное, монолитное кольцо. Небольшой размер плит обуславливает меньшее их коробление при нагревании, но не исключает его полностью. Такое устройство крепления верха шахты служит очень хорошо,

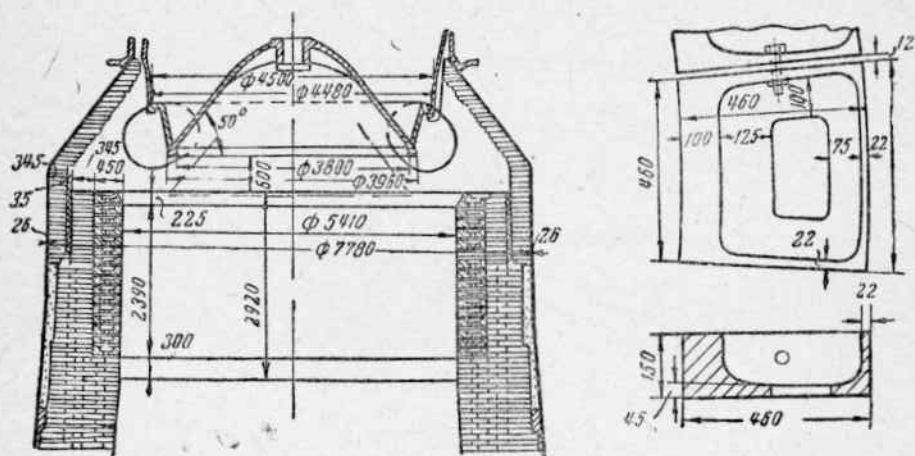
если не допускать опускания уровня шихты и получения выбоин под кольцами. Как показала практика печи № 7 завода им. Дзержинского, работа на неполной доменной печи приводит к получению выбоин под кольцами, которое влечет за собой обрушение колец после 2—3-летней работы. Можно полагать, что конструкция крепления верха шахты по образцу первой типовой печи является надежной только при условии недопущения опускания уровня засыпи ниже предохранительных плит и при сохранности шахты, расположенной ниже, так как предохранительные кольца ни в коем случае не могут держаться, если произошел обвал кладки в средней или верхней части шахты.



Фиг. 122. Деталь крепления верха шахты 2-й типовой доменной печи: 1 — кольца; 2 — кронштейны.

Весьма надежный способ крепления шахты применен для доменных печей одного из заводов (фиг. 124). Приведенное крепление состоит из плит с сечением уголка толщиной 30 мм. Плиты изготовляются из стали с содержанием 1% углерода, что обеспечивает хорошее сопротивление износу. Каждая плита имеет отверстие, в которое заводится круглый загнутый стержень арматурного железа. Вторым своим концом арматурные стержни закрепляются в бетонное кольцо. Плиты располагаются в шахматном порядке.

Опыт доменных печей Магнитогорского завода выявил, что предохранительные плиты служат достаточно успешно, если кладка, лежащая под плитами, со-



Фиг. 123. Крепление верха шахты 1-й типовой доменной печи плитами коробчатого сечения.

хранена от разрушения. Получение выбоин под предохранительными кольцами или плитами, или обвал кладки шахты в верхней и средней ее части ведут к падению и разрушению плит.

В дальнейшем при капитальных ремонтах доменных печей упомянутая конструкция предохранительных плит инж. Н. Г. Кизименко была улучшена. Стержни арматурного железа, удерживающие стальные плиты, были закреплены за выступы вертикальных холодильников, как это показано на фиг. 125 в разрезе и в плане.

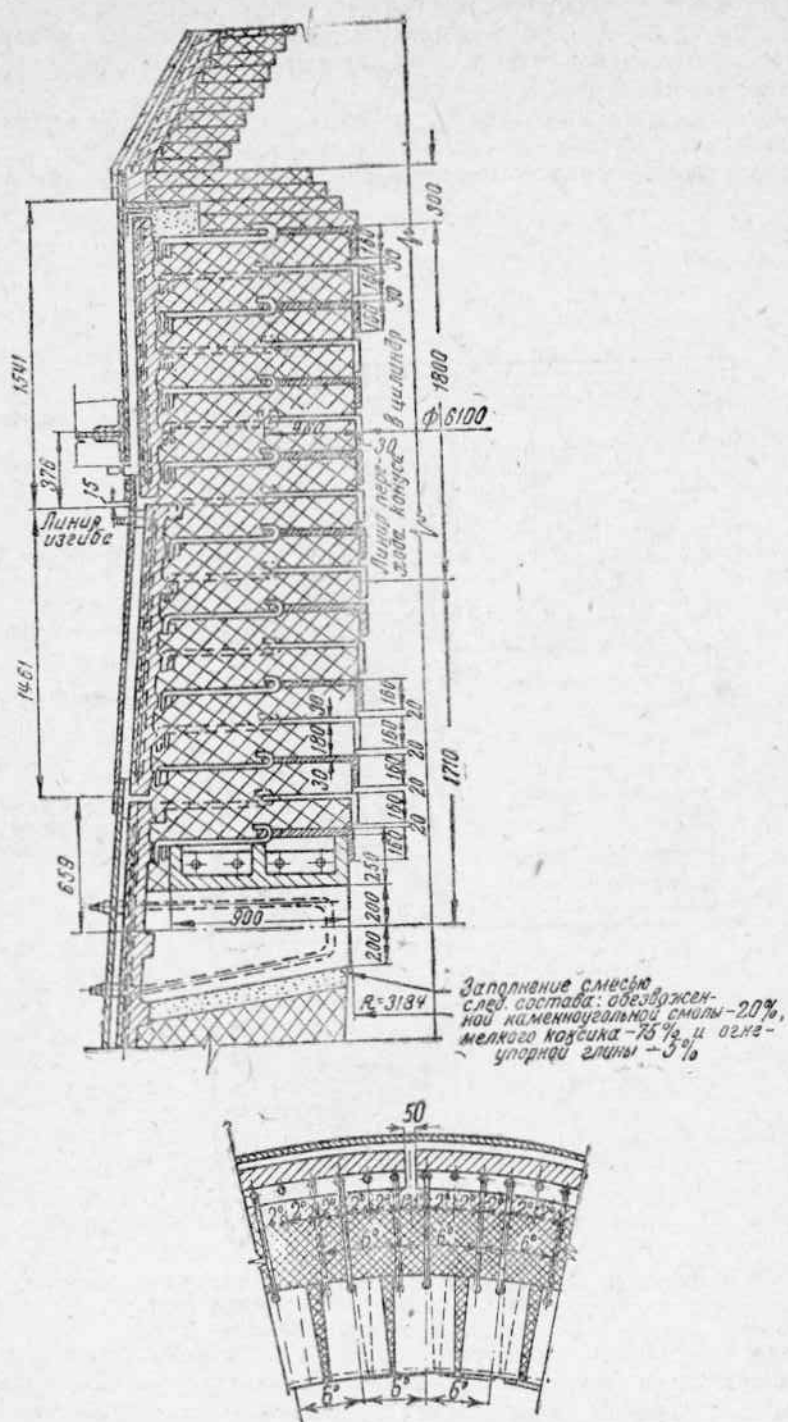
Для исключения обвала плит при разрушении нижележащих частей шахты доменной печи предусмотрена установка под поясом из предохранительных плит одного ряда вертикально-горизонтальных холодильников по системе автора.

Отдельно вертикально-горизонтальный холодильник приведен на фиг. 126. Такое устройство крепления верхней части шахты можно считать одним из лучших, вполне обеспечивающим успешную работу на протяжении всей кампании доменной печи; оно может быть рекомендовано к самому широкому распространению на наших заводах.

На фиг. 127 представлено устройство крепления шахты, принятого на Кузнецком заводе. Оно состоит из железных кронштейнов, приклепанных к кожуху шахты, к которым прибалчиваются стальные литые угольники.

Фиг. 124. Крепление верха шахты доменных печей плитами, имеющими в сечении форму уголка.

Благодаря небольшому размеру стальных литых угольников в этом устройстве почти полностью устраняется коробление. Наличие зазора между кронштейнами и кладкой обеспечивает свободное расширение. При этом устройстве также нельзя допускать получение выбоин под предохранительными кольцами, так как газовый поток начинает прорываться между кожухом шахты и предохранительными кольцами, а болты для крепления и головки заклепок с течением времени отгорают и защитное устройство обваливается.



Фиг. 125. Крепление верха шахты печей в комбинировании с поясом из вертикально-горизонтальных холодильников: разрез крепления верха шахты и расположение плит и крепления в плане.

печи, а подвешиваются к конической части кожуха на особых тягах (фиг. 128, а, б, в, г).

Кладка шахты несколько поднимает защитные кольца, а поэтому необходимо через некоторое время после задувки печи подтянуть гайки болтов подвесок. Такое устройство оказалось более надежным в работе и может быть рекомендовано к применению.

На некоторых европейских заводах нашло применение крепление верхней части шахты в виде сплошного стального литого панцыря, как изображено на фиг. 129. На доменных печах США получило известное распространение крепление верхней части шахты системы американского конструктора Довела (фиг. 130). Это устройство представляет собой стальные плиты, футерованные с внутренней стороны плитками марганцовистой стали, прикрепленными к основным плитам на четыре болта. Эта конструкция вполне оправдала себя в практических условиях и может с успехом применяться на доменных печах.

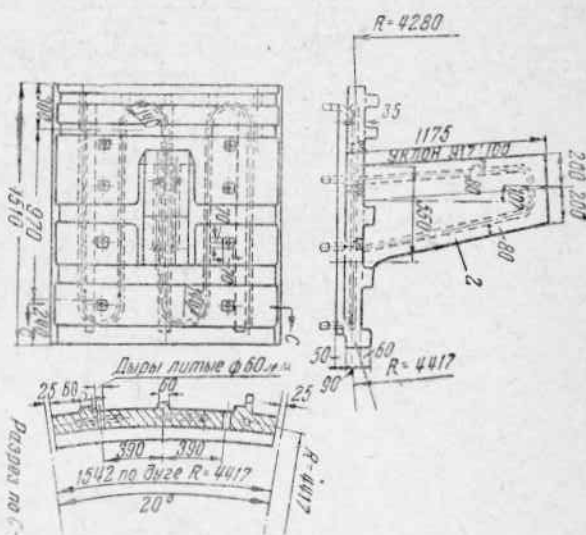
Деталь устройства верха шахты системы Довела приведена на фиг. 130.

Недостатком предложенной Довелом конструкции является лишь ее дороговизна и возможность коробления при отсутствии охлаждения на доменных печах с развитым периферийным потоком газов.

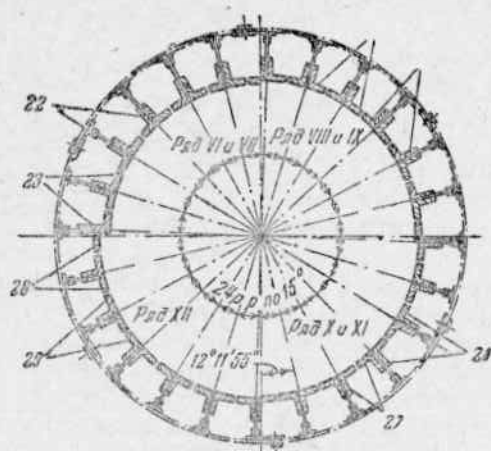
На съезде американских доменщиков в Чикаго в 1930 г. представлена заслуживающая внимания конструкция верха шахты, изображенная на фиг. 131. Выполнение верха шахты в виде купола значительно упрощает кладку верхней части шахты, а увеличение зазора между кромкой конуса и стенкой кладки скажется на снижении выплывания. Стальные мелкие плиты, закрепленные в бетонном кольце, также заслуживают интереса, но они сложнее и дороже в изготовлении, чем устройство плит имеющих форму уголка. К тому же последняя усовершенствованная конструкция крепления верха шахты, изображенная на фиг. 125 и 126, много надежнее американской. Устройство плиты, прибалчиваемой к основному кольцу шахты, следует одобрить и рекомендовать к широкому распространению, как предохраняющее кладку от обвала.

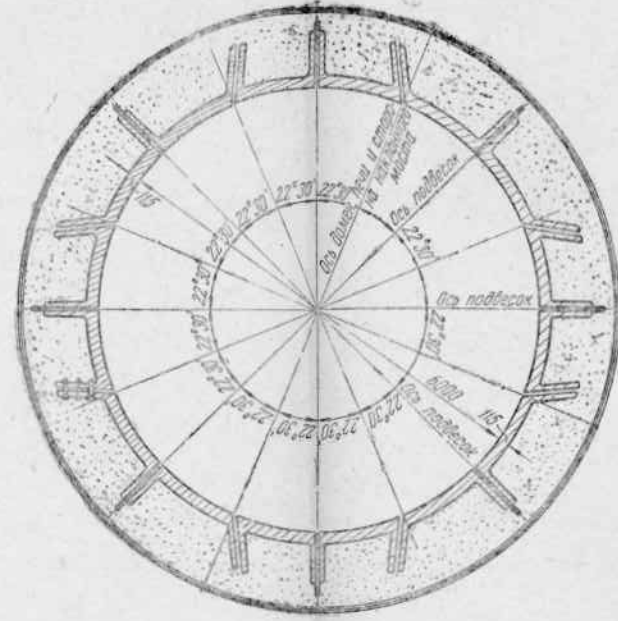
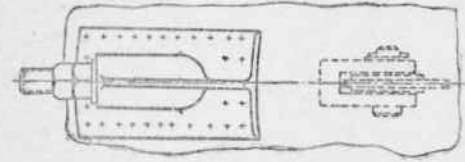
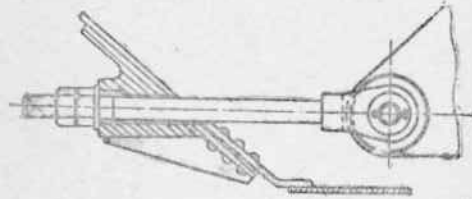
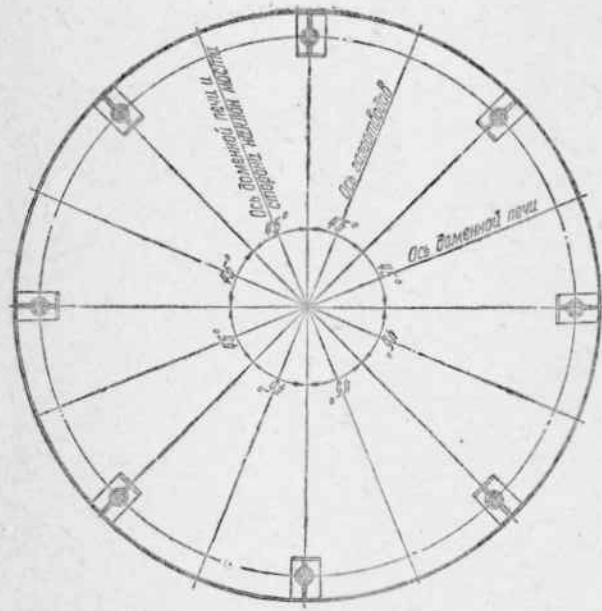
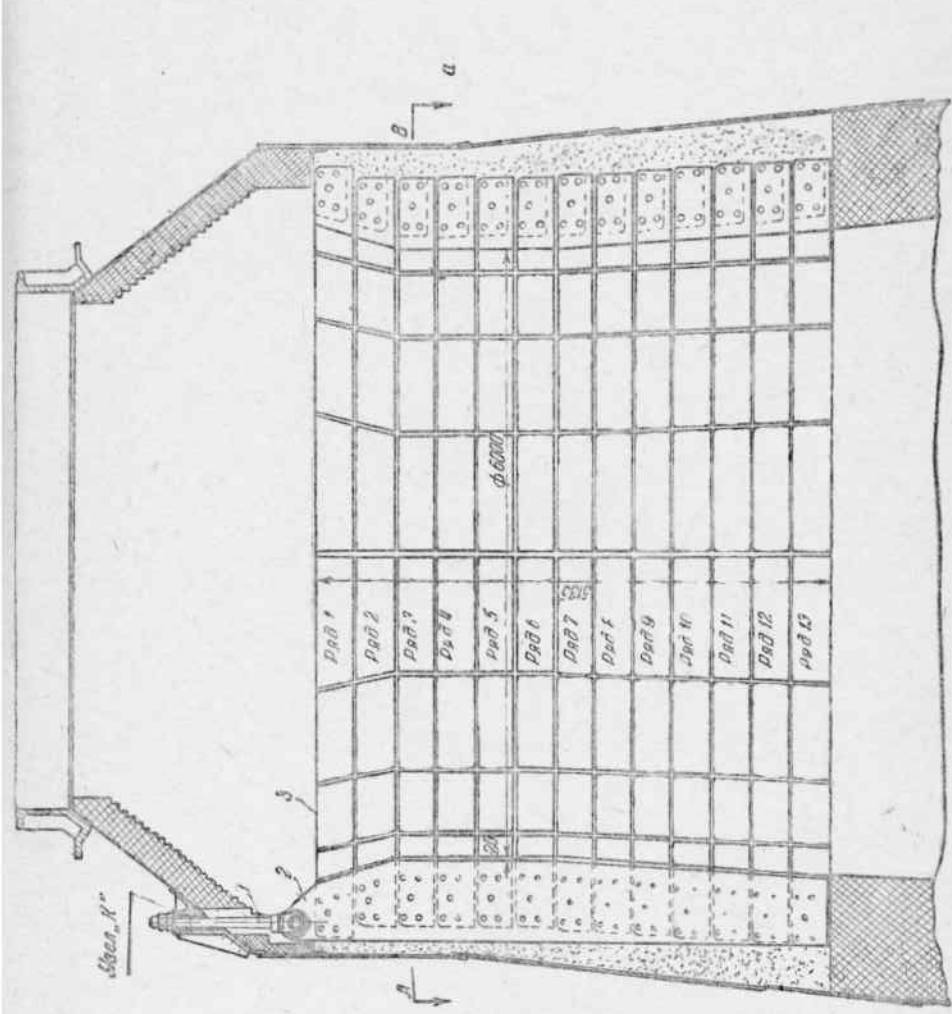
За последнее время на доменной печи завода им. Ворошилова применены защитные кольца типа кольца, изображенного на фиг. 132. Стальные плиты имеют таврообразное сечение, причем полка тавра обращена к кожуху, а ребро — по направлению к печи. Горизонтальные перегородки в стальной отливке вместе с вертикальными ребрами образуют ряд пазух, которые закладываются огнеупорным кирпичом. Отдельные плиты между собой не имеют крепления, а поэтому при короблении дают свободное расширение.

Аналогичная конструкция также применена на Орджоникидзевском заводе, где она показала достаточно удовлетворительные результаты работы. Недостатком этой конструкции является то, что кирпич в пазухах может выбиваться, а ребра изнашиваться и обламываться. Очевидно, с течением времени колошник доменной печи при этой конструкции будет несколько расширяться. Правда, выбоины могут и не оказать сколько-нибудь серьезного влияния на распределе-



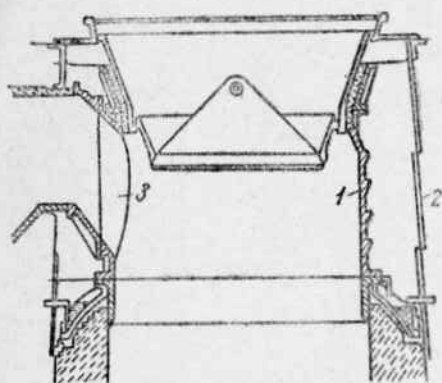
Фиг. 126. Вертикально-горизонтальный холодильник: 1 — вертикальная холодильная плита; 2 — горизонтальный охлаждаемый кронштейн.



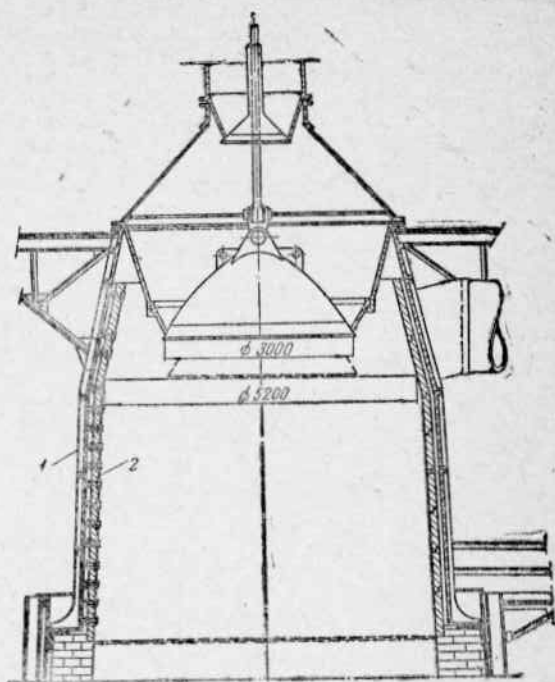


Фиг. 123. Устройство предохранительных плит колошника подвесного типа:

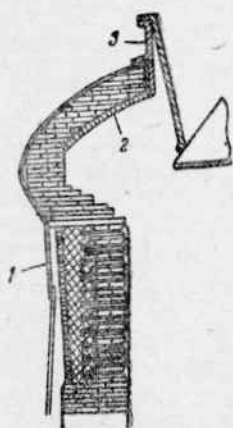
а — общий вид; **б** — деталь узла **К**; **в** — расположение кронштейнов подвесок на кожухе купола шахты; **г** — разрез через предохранительные кольца (в плане) (**1** — подвеска; **2** — вертикальная плита; **3** — сегмент предохранительных плит).



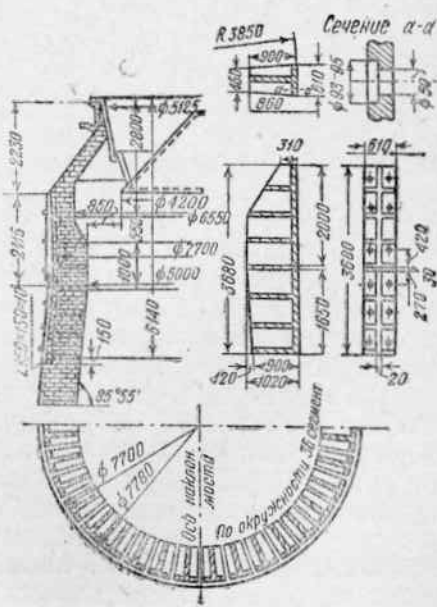
Фиг. 129. Верхняя часть шахты в виде сплошного панцыря, стального литья:
1 — стальной литой верх шахты;
2 — кожух; 3 — газопровод.



Фиг. 130. Крепление шахты печи по системе Довела: 1 — стальной литой верх шахты, 2 — предохранительные плиты.



Фиг. 131. Конструкция крепления верха шахты, предложенная съездом американских доменщиков: 1 — кожух печи; 2 — предохранительное кольцо; 3 — опорное кольцо засыпного аппарата.



Фиг. 132. Защитные кольца колошника доменной печи одного из заводов Юга.

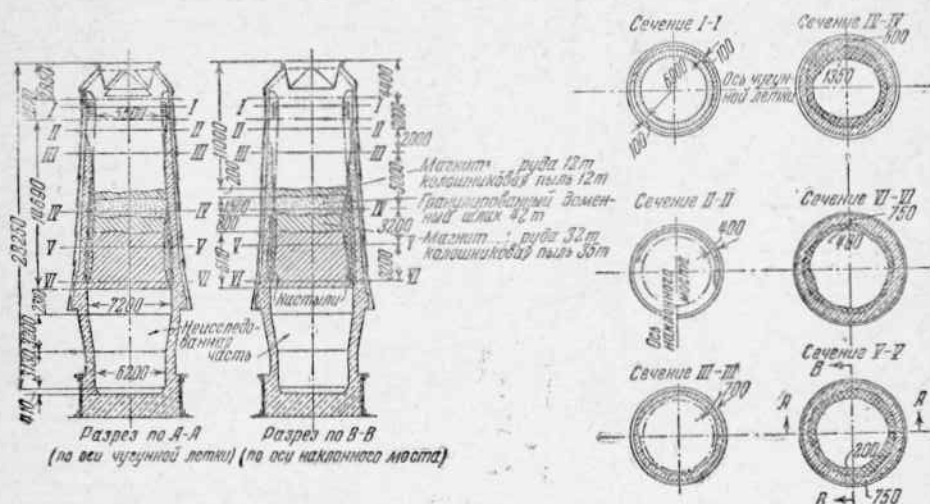
ния материалов, так как они, если окажутся большими по размерам, забьются рудой.

Во избежание обрыва плит и для обеспечения более прочного крепления плит к кожуху было бы лучше предусмотреть при этой конструкции крепление болтами, имеющими головки в виде ласточкина хвоста.

Примененная конструкция на двух южных заводах работает успешнее и лучше, чем устройство для крепления верха шахты, принятое на первой типовой доменной печи.

§ 15. Ремонты шахты доменных печей

Современные доменные печи весьма часто выходят из строя по причине износа шахты, в то время как горн и заплечики находятся еще в достаточно хорошем состоянии. Это обстоятельство позволяет производить ремонты шахты



Фиг. 133. Состояние кладки доменной печи Кузнецкого завода перед ремонтом и заполнением верхней части.

доменной печи без полной выдувки ее, с тем чтобы, исправив профиль заменой износившейся части кладки, продолжать работу. Особенно часто изнашивается область защитных колец колошника, и часто возникает необходимость в замене верхней части кладки печи. При износившейся кладке доменной печи резко повышается расход горючего и устанавливается неровный ход с наличием упорных подвисаний и больших осадок, вследствие чего наблюдается и повышенный вынос колошниковой пыли, который доходит до 40% при работе на неподготовленной шихте из криворожских и магнитогорских руд.

На примере ремонта шахты доменной печи Кузнецкого завода, выполненного по инициативе акад. И. П. Бардина, можно видеть правильную организацию ремонта, обеспечивающую минимальные простои.

На основании данных бурения и осмотра кладки при открытом конусе, шихта в доменной печи была опущена на 14 м ниже положения большого конуса. При опускании шихты регулировкой дутья было обеспечено получение температуры на колошнике не выше 700°, что позволило обойтись без поливки колошника водой. Состояние кладки шахты доменной печи Кузнецкого завода можно видеть на фиг. 133.

Для обеспечения герметичности верхней части столба шихты было применено покрытие всей поверхности колошника вначале магнитогорской рудой и колошниковой пылью, затем гранулированным шлаком и, наконец, еще слоем колошниковой пыли и магнитогорской руды.

Остановка доменной печи на ремонт была произведена следующим образом. После прекращения дутья и снятия сопел фурмы были забиты глиной, открыты оба конуса засыпного аппарата и прекращена подача газа в сеть. Для обеспечения горения газа на поверхность колошника был засыпан скип с горевшим коксом и дровами.

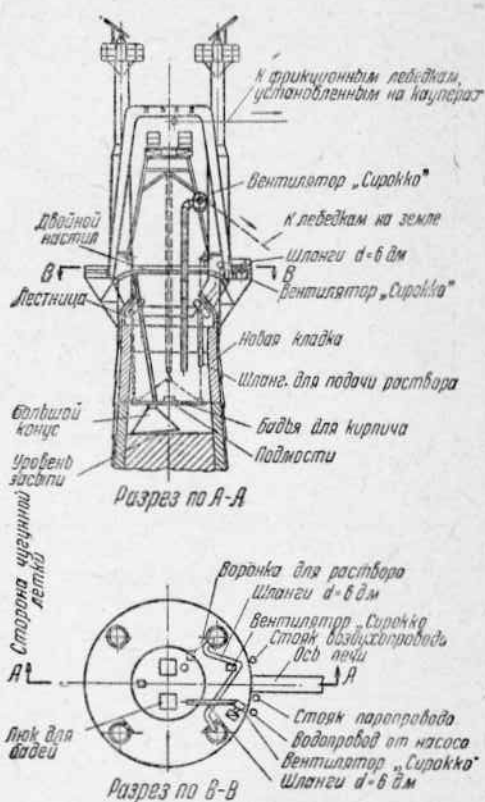
Через два часа после прекращения дутья фурмы были вынуты, амбразуры забиты глиной, засыпаны песком и заложены кирпичом. Неплотности в кирпичной кладке между обручами заплечиков и отверстия для холодильников были тщательно замазаны составом из цемента, шамотового порошка и поваренной соли.

Горение газа в печи некоторое время поддерживалось подбрасываемыми дровами, а потом продолжалось на протяжении всего ремонта, причем языки пламени в течение ремонта постепенно уменьшались, а к концу ремонта почти полностью исчезли.

На фиг. 134 показана схема колошниковоустройства с установкой трех вентиляторов Сирокко для подачи воздуха в доменную печь, а также подвесные подмости для производства кладки.

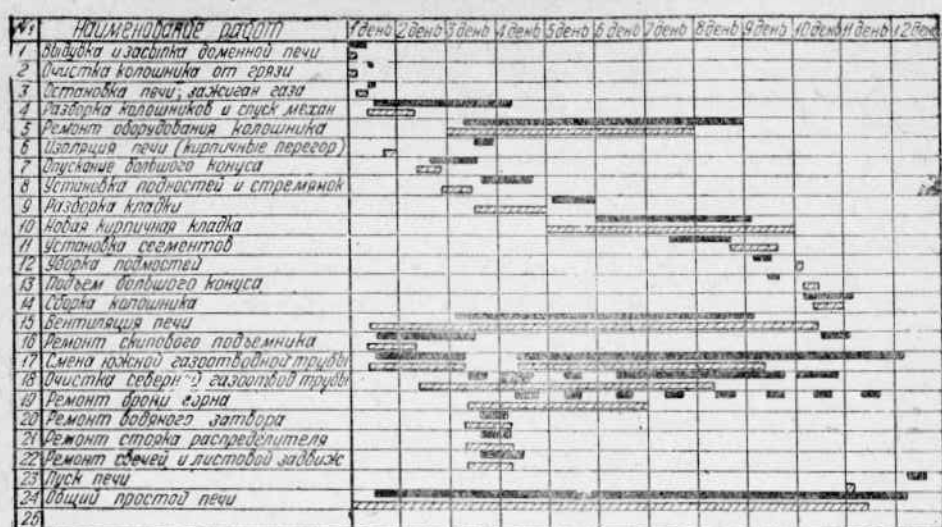
Намеченный график ремонта доменной печи Кузнецкого завода и его фактическое выполнение приведено на фиг. 135. Особое внимание было уделено организации ремонта. Для производства работ были установлены три электрических и 11 ручных лебедок для обслуживания монтажных работ. Подвесная площадка, предназначенная для ремонта кладки, была предварительно испытана на нагрузку 14 т. Площадка состояла из четырех секторов, которые были поданы на колошник, где их собрали попарно и по половине опустили в доменную печь примерно на 1 м ниже уровня чаши. После выравнивания обеих половин был пущен вентилятор. Перемещение площадки производилось при помощи 4-т ручной лебедки.

Для охлаждения и вентиляции доменной печи на время ремонта был подведен воздух от воздухопровода холодного дутья трубой диам. 3". В печь этот воздух подавался спиральным 4-дюймовым шлангом длиной 16 м. Для производства ремонтных работ на колошник доменной печи подавался компрессором воздух с давлением 8 ат по трубе диам. 2 1/2". Этот воздух частично был использован для вентиляции. Основная же подача воздуха производилась при помощи трех вентиляторов Сирокко № 5, которые были установлены на колошнике доменной печи. От одного из вентиляторов воздух подводился четырьмя спиральными шлангами диам. 6", а от остальных двух — трубами диам. 0,55 м, выполненными из кровельного железа. Благодаря интенсивной подаче воздуха температура во время ремонта держалась невысокой даже на глубине 11 м. Концентрация окиси углерода была небольшая и за время всего ремонта не было угораний.



Фиг. 134. Схема подмостей и установка вентиляторов при ремонте доменной печи Кузнецкого завода.

Организацию ремонта по типу Кузнецкого завода можно рекомендовать не только для ремонта верхней части шахты, но и для ремонта средней ее части, а также для удаления настылей.



Фиг. 135. График ремонта доменной печи Кузнецкого завода.

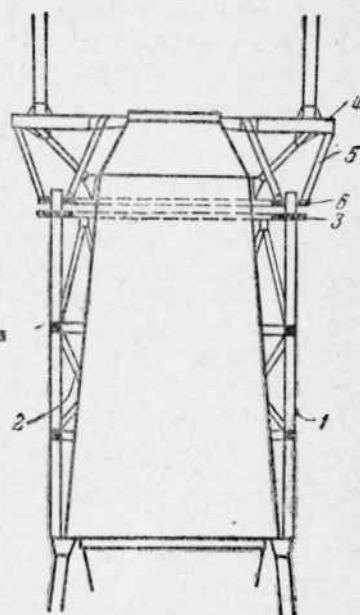
После износа шахты доменной печи работа становится крайне невыгодной из-за повышения расхода горючего, повышенного выноса пыли, неравномерного хода печи и снижения производительности. Однако нередко случаи, когда по тем или другим соображениям работают при изношенной футеровке шахты, с поливкой кожуха водой. Такая работа весьма часто приводит к большой деформации и даже к разрыву кожуха шахты.

На доменной печи Магнитогорского завода после ее выдувки в 1935 г. оказались дефектными 70% листов кожуха шахты. Коробление листов достигало 200 мм и вызвало перекос колошника на 374 мм, как показано на фиг. 136.

Инж. Н. Г. Кизименко было предложено оригинальное устройство для выравнивания колошника, которое приведено схематично на фиг. 137. На верхние опорные колонны под доменную печь был установлен каркас, состоящий из восьми колонн 1, выполненных из швеллеров № 40 и 45, соединенных между собой поперечными балками и раскосами 2.



Фиг. 136. Перекос колошника доменной печи Магнитогорского завода.



Фиг. 137. Схема устройства для выравнивания колошника по предложению инж. Н. Г. Кизименко.

В верхней части колонны были соединены между собой балкой 3, состоящей из нескольких колец. К балкам опорных кронштейнов под колошниковую площадку 4 были прикреплены стержни 5, к которым жестко подвешена и прочно прикреплена кольцевая балка 6, аналогичная по устройству балке 3. Концы

колонн проходили в прорезь балки 6. Расстояние между балками 3 и 6 было предусмотрено на установку между ними гидравлических 200-т домкратов, которые были использованы для выравнивания колошника после расклейки кожуха и разъединения газопровода, идущего к первому газоочистителю. Прорези в балке 6 обеспечили точный вертикальный подъем. Железные конструкции устройства для подъема весили 150 т и были рассчитаны на подъем 700 т.

Описанное устройство осталось для постоянной работы и на нем были установлены площадки для надзора за охлаждением шахты доменной печи.

На съезде доменщиков в декабре 1934 г. при Гипромезе, созванном для рассмотрения типового проекта доменных цехов, инж. Н. Г. Кизименко и Д. С. Кащенко предлагали ввести в проект типовой доменной печи установку вокруг шахты каркаса, на колонны которого должны опираться колошниковая площадка и наклонный мост. Это ставит работу кожуха доменной печи вне зависимости от устойчивости несущей конструкции под колошниковым устройством и наклонным мостом, а поэтому предложение заслуживает серьезного внимания и проведения в жизнь.

ГЛАВА III

ВОДОПРОВОД ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

§ 16. Общие соображения

Современные доменные печи при той сложной системе охлаждения, которой они оборудуются, потребляют громадное количество воды. На тонну суточной производительности доменной печи расход воды составляет от 10 до 40 м³.

Охлаждающая система доменной печи на протяжении всей кампании должна работать бесперебойно, для чего при проектировании водопровода доменной печи должны быть приняты соответствующие меры. Прежде всего каждая доменная печь должна быть обеспечена двойным подводом и отводом воды. Для каждого из подводов должна предусматриваться особая магистраль кольцевого водопровода. Точно так же и с канализационной сетью — отводы воды должны быть соединены отдельными магистралями.

Водопроводные колодцы при доменной печи снабжаются хорошим дренажем с тем, чтобы в любых условиях к задвижкам, в них расположенным, имелся свободный доступ. Это обстоятельство имеет чрезвычайно большое значение для эксплуатации. При отсутствии дренажа в колодцах они могут быть заполнены водой и в случае необходимости переключения задвижек придется потратить много времени для их открывания (особенно в зимнее время).

Бесперебойное питание охлаждающих устройств доменной печи во избежание выхода из строя последних является необходимым условием при эксплуатации.

Устройство водопровода доменной печи должно позволять проведение ремонтов и исправлений в водопроводной сети без прекращения подачи воды на доменную печь.

Питание охлаждающих устройств современных доменных печей водой производится с давлением 2—4 ат. Для промывки холодильников на доменной печи весьма желательно иметь также водопровод высокого давления — 7—12 ат. Этот водопровод высокого давления может быть использован и для увеличения интенсивности охлаждения отдельных холодильников или фурм, или же подачи воды на колошник печи, если в этом встретится надобность.

Выше было указано, что расход воды на доменные печи колеблется в широких пределах и зависит от многих причин: от системы охлаждения, давления воды, жесткости воды, хода доменной печи, сорта выплавляемых чугунов и т. д.

Назначение для отдельных охлаждающих устройств определенных норм очень трудно и непоказательно.

Давление воды перед фильтром может быть рекомендовано следующее:

- а) для малых доменных печей с производительностью до 500 т/сутки — 2—2,5 ат;
- б) для средних доменных печей с производительностью до 1000 т/сутки — 2,5—3,0 ат;
- в) для мощных доменных печей с производительностью выше 1000 т/сутки — 3,0—4,0 ат.

Расход воды при проектировании должен приниматься не менее 30 м³ на одну тонну чугуна.

§ 17. Подвод воды к доменной печи

Расположение труб, подводящих воду к доменной печи, можно видеть на фиг. 138 применительно к первой типовой доменной печи. Подвод воды для охлаждения печи осуществляется двумя кольцевыми трубами, расположенными по высоте доменной печи. Трубы делаются стальными литыми или железными сварными, как более устойчивые по отношению к возможным гидравлическим ударам.

Перед подводом в кольцевые трубы вода должна пройти очистку от механических примесей (грязь, щепа, мелкая рыба и т. д.). Для очистки устанавливаются фильтры. На фиг. 139 приведено устройство фильтров системы Еллиот, примененных на доменных печах Магнитогорского завода. Подвод воды в фильтры делается сверху, а отвод — снизу. Корпус фильтра разделен перегородкой на две части, в каждой из этих частей помещается медная фильтровальная сетка в виде ковшов с диаметром отверстий 5—7 мм. В верхней и нижней части предусмотрены задвижки, которая ходит в направляющих и выдвигается при помощи винта с ручным штурвалом. Любая половина фильтра может быть выключена из водопроводной сети перекрытием задвижек. В то время как одна из половин фильтра находится в работе, другая половина может быть очищена через люк, предусмотренный в боковой части фильтра.

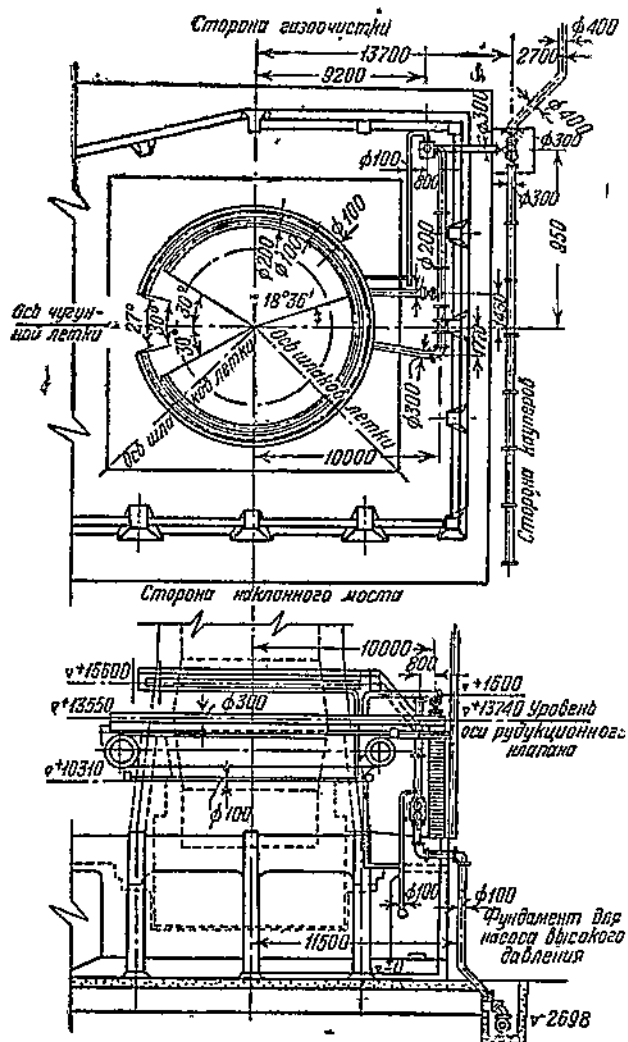
Для осмотра и ремонта задвижек имеются в верхней и нижней части особые люки.

Фильтры данной конструкции оказались весьма удобными в работе, они обеспечивают подачу в холодильники чистой от механической примеси воды, что предохраняет от загрязнения трубок.

Фотография — фиг. 140, а дает такую же представление об устройстве двухкамерного фильтра системы Еллиот. Многокамерные фильтры Еллиот приведены на фиг. 140, б. Оборудование насосных станций, питающих доменные цехи, фильтрами можно видеть на фотографиях — фиг. 141.

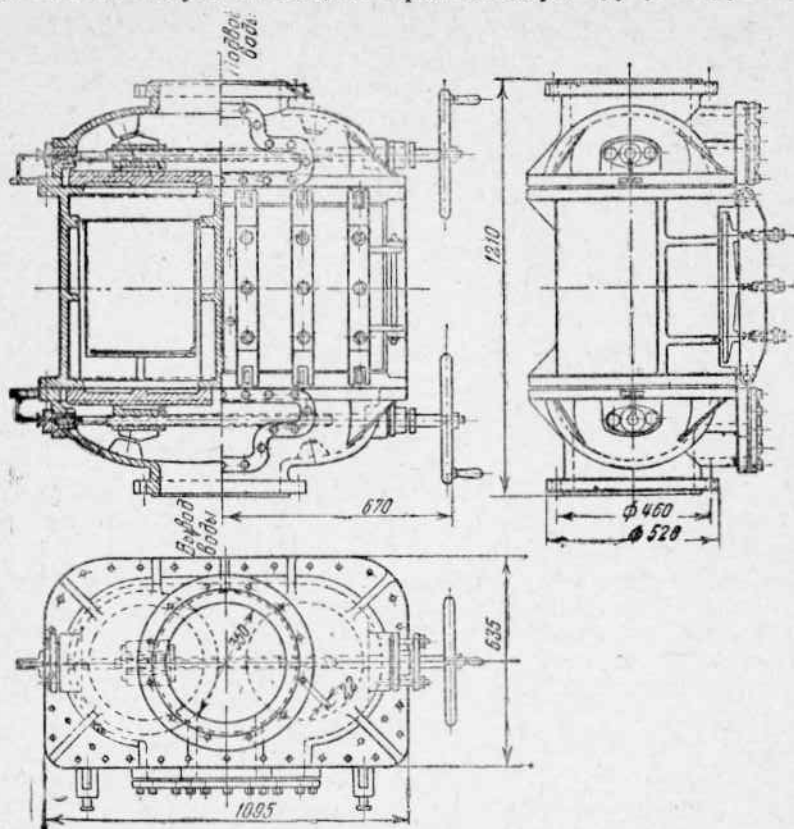
Такие конструкции забора воды обеспечивают получение последней в чистом виде.

На фиг. 142 изображен фильтр системы Брассерта, автоматически очищающийся. Этот фильтр состоит из вращающегося в коробке литого конуса с отвер-



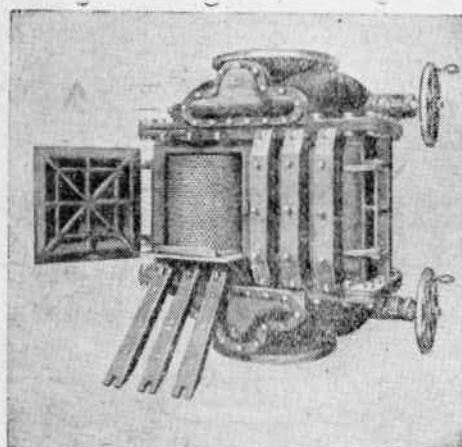
Фиг. 138. Расположение труб, подводящих воду к печи.

ствиями, закрытыми сеткой. Вода входит в корпус фильтра, проходит через отверстия вращающегося конуса и выходит через отводную трубу. Круглые отверстия

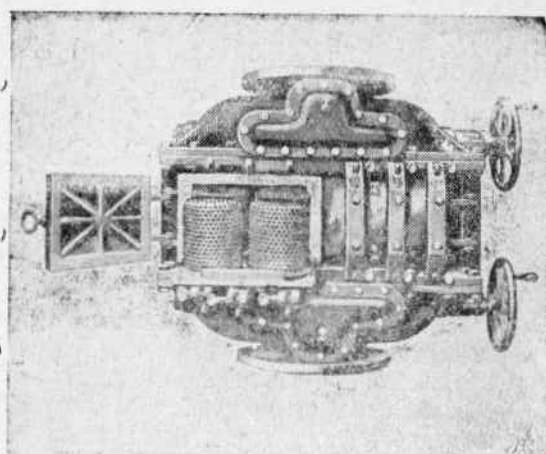


Фиг. 139. Фильтр на подводящей трубе системы Еллиот.

ствия вращающегося конуса расположены в три ряда. В эти отверстия вставляется проволоочная сетка, прижимаемая трубчатой гайкой. Вращение обеспечи-

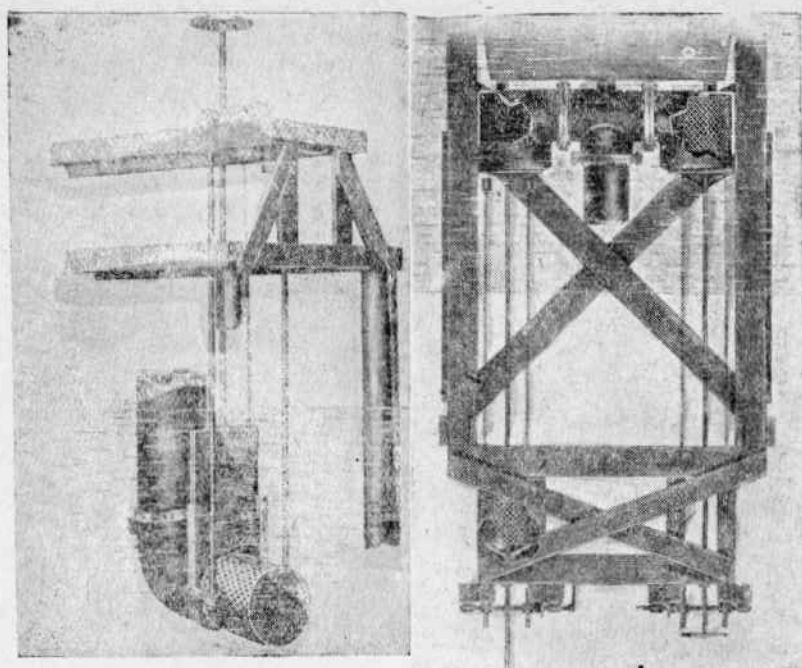


Фиг. 140а. Двухкамерный фильтр системы Еллиот.

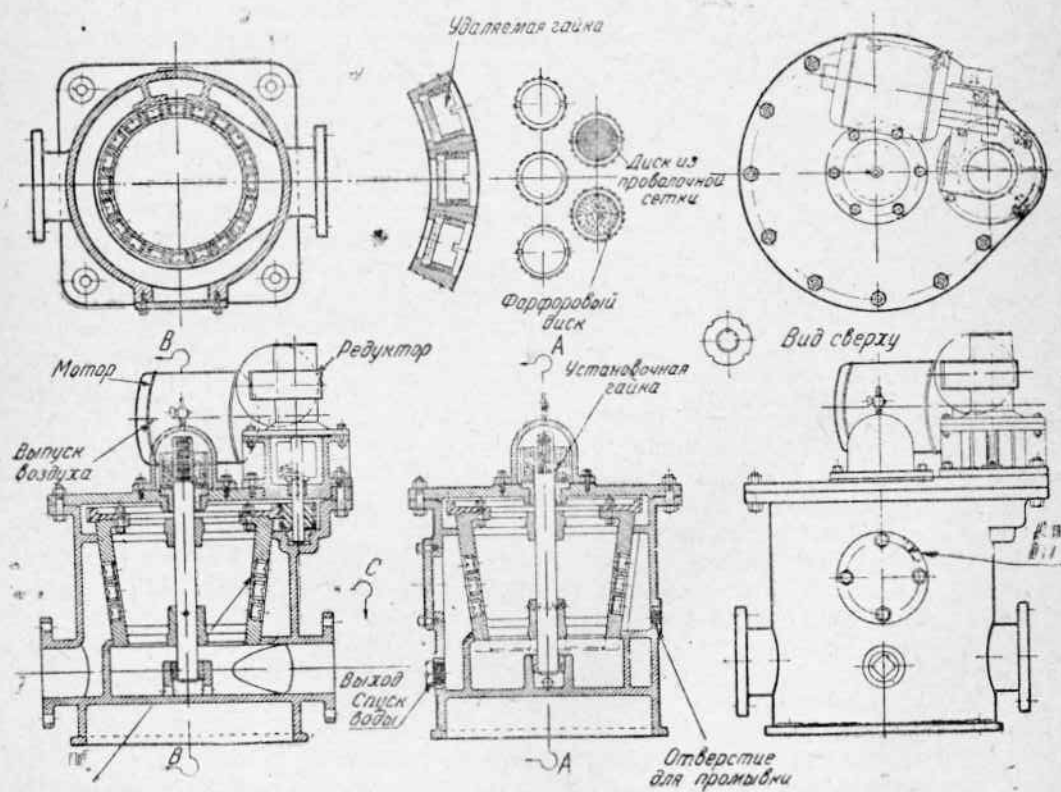


Фиг. 140б. Многокамерный фильтр системы Еллиот.

вается при помощи мотора, соединенного через редуктор и пару цилиндрических шестерен с конусом. Загрязненная механическими примесями вода удаляется



Фиг. 141. Забор воды насосной станцией (два варианта),



Фиг. 142. Фильтр системы Брасерра.

отдельно через дренажную трубу. При вращающемся конусе сетку можно делать с величиной отверстий 2—3 мм, что обеспечивает весьма хорошую очистку воды от механических примесей.

Перед фильтром и после фильтра устанавливаются манометры для измерения давления. По разнице давления до и после фильтра можно судить о степени загрязненности фильтра.

Водомер должен быть снабжен самопишущим прибором, его лучше ставить до фильтра, так как прямой участок трубы здесь больше.

При применении жесткой воды большие неприятности в эксплуатации охладительных устройств причиняет выделение накипи.

Химическая очистка воды, имея в виду большой расход ее, обходится довольно дорого, но вполне оправдывает себя при употреблении для охлаждения оборотной воды через брызгальные бассейны.

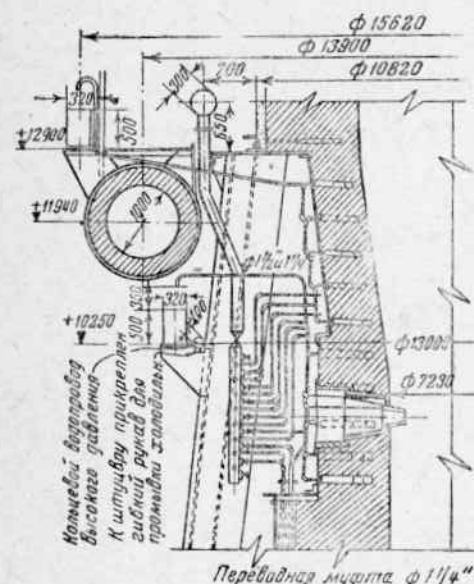
§ 18. Подвод воды к фурмам и охладительным устройствам печи

От кольцевой трубы к холодильникам вода подводится при помощи водоразборной колонки, которая изображена на фиг. 143. От водоразборной колонки

отдельными трубками вода подается к холодильникам и отводится от последних в водосборные корыта, обычно чугунные литье, расположенные на кронштейнах колонн доменной печи и над кольцевой трубой.

Имея в виду более частую смену фурм и амбразур по сравнению с другими охлаждающими устройствами, для них лучше предусматривать подвод гибким рукавом, как изображено на фиг. 144, на которой показан также кран для перекрытия воды к холодильнику и устройство гибкого рукава и соединение водопроводящих трубок. Наличие в гибких соединениях шаровой заточки обеспечивает герметичность соединения трубок водопроводной сети.

Для соединения всех труб водопровода следует применять коническую трубную нарезку. При применении конической трубной нарезки отпадает часто возникающая в практических условиях надобность в уплотненных соединениях при помощи пакли.

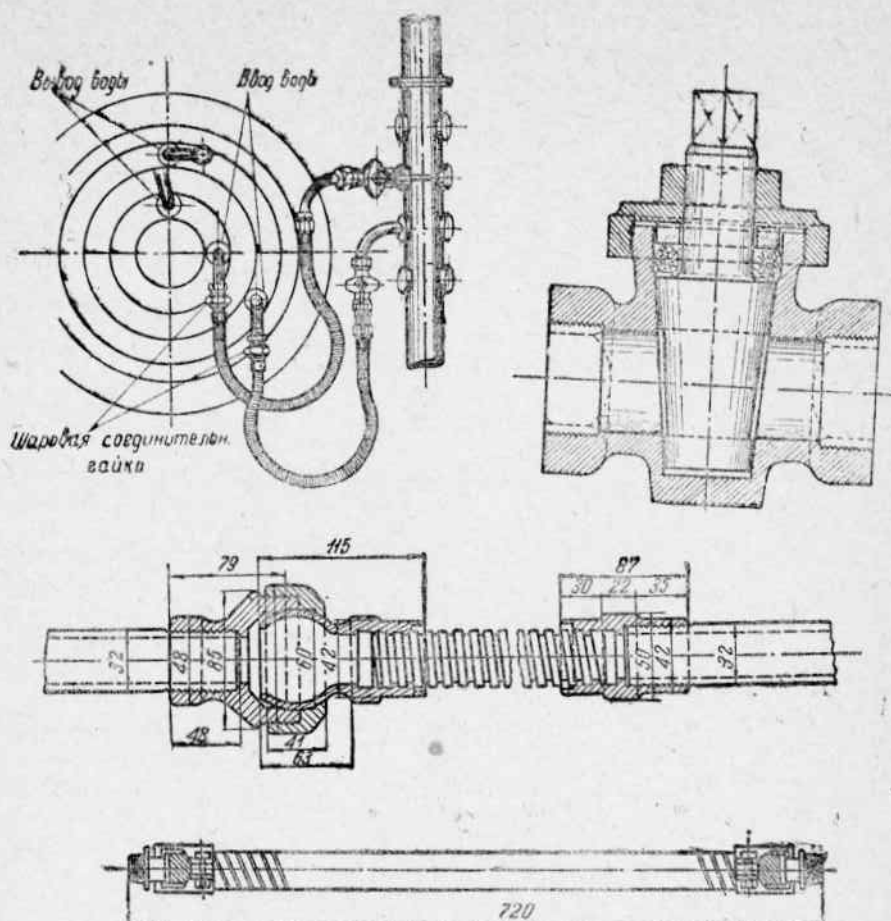


Фиг. 143. Подвод и отвод воды для холодильников с помощью водоразборной колонки.

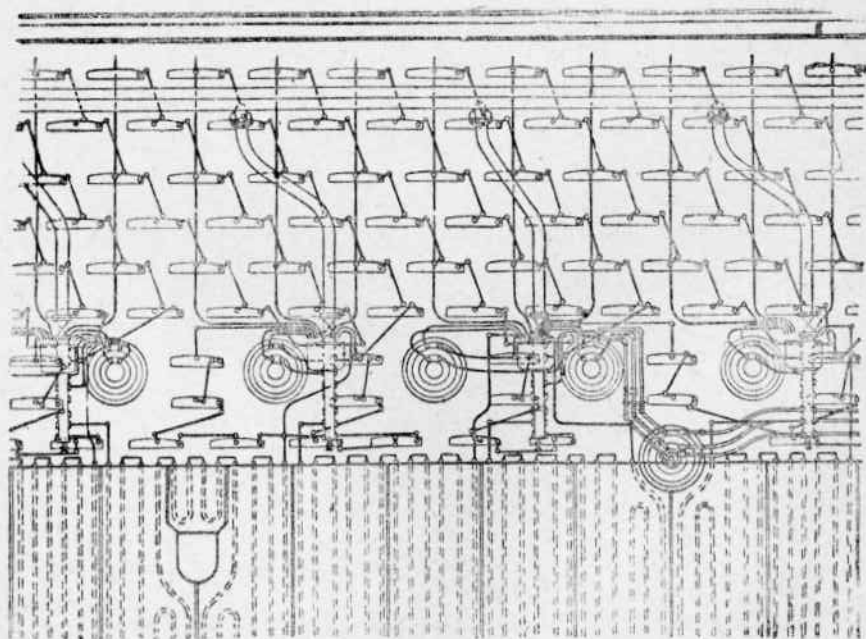
Развод трубок к холодильникам горна, фурменной зоны и заплечиков показан на фиг. 145 и 146. Холодильники горна обычно имеют отдельный подвод и отвод на два холодильника. Горизонтальные холодильники заплечиков и фурменной зоны имеют один подвод и отвод на каждые 3—4 холодильника. Холодильники, расположенные в области чугунной летки и в области шлаковой летки, лучше снабжать самостоятельным подводом к каждой трубке холодильника с тем, чтобы увеличить интенсивность охлаждения.

Водосборное корыто нередко комбинируется вместе с напорным водопроводом. В этом случае устройство водосборного корыта имеет вид, изображенный на фиг. 147, а. На многих современных доменных печах находят широкое применение сварные водосборные корыта, изображенные на фиг. 147, б.

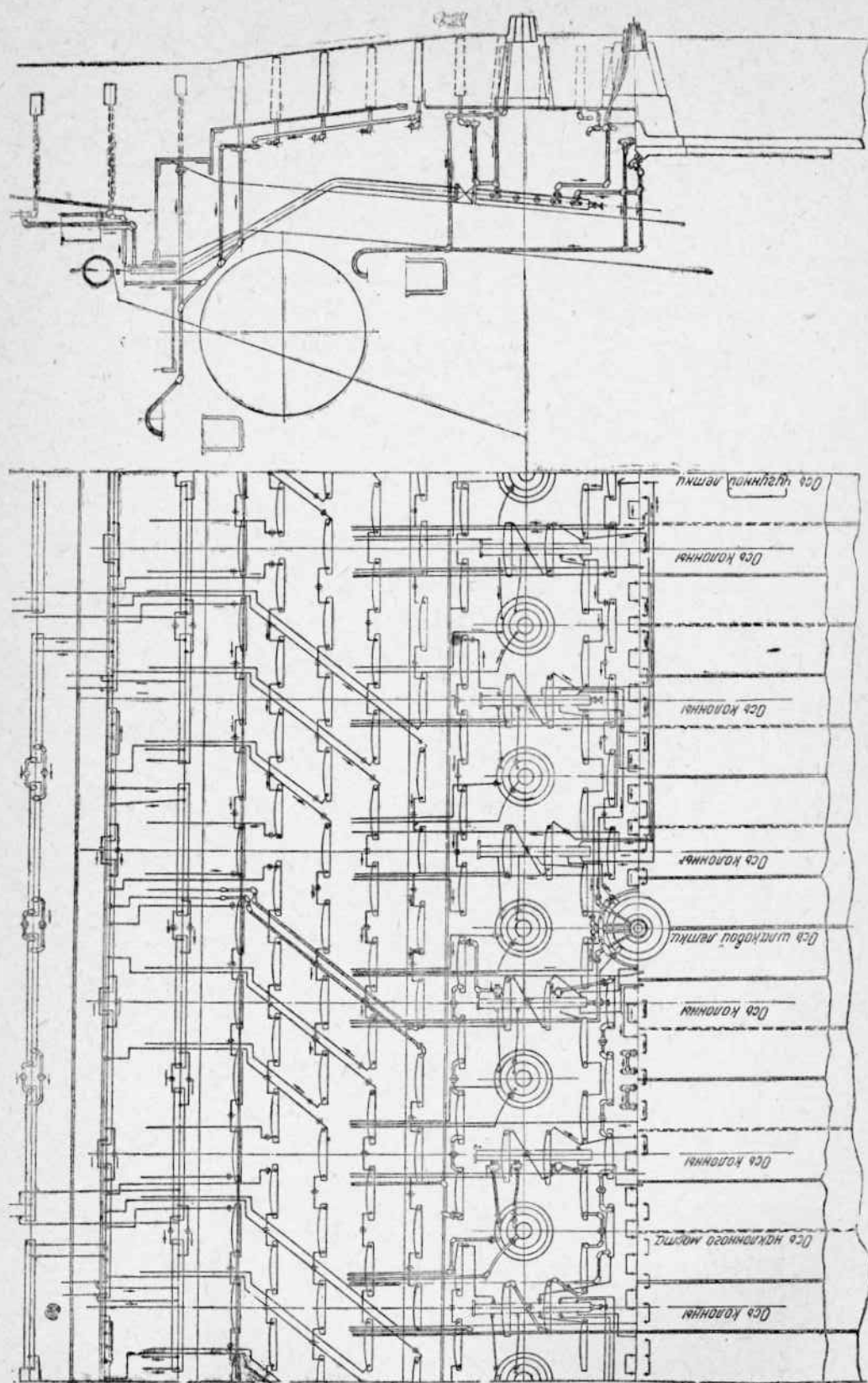
Для исключения засасывания воздуха в сливной водосток над отверстием предусматривается установка диафрагмы. Аналогичного устройства водосборные корыта выполняются и чугунные литье.



Фиг. 144. Подвод воды к фурме и амбразуре: вверху слева — гибкий рукав; справа — кран; нижние два чертежа — гибкое соединение водопроводных труб.

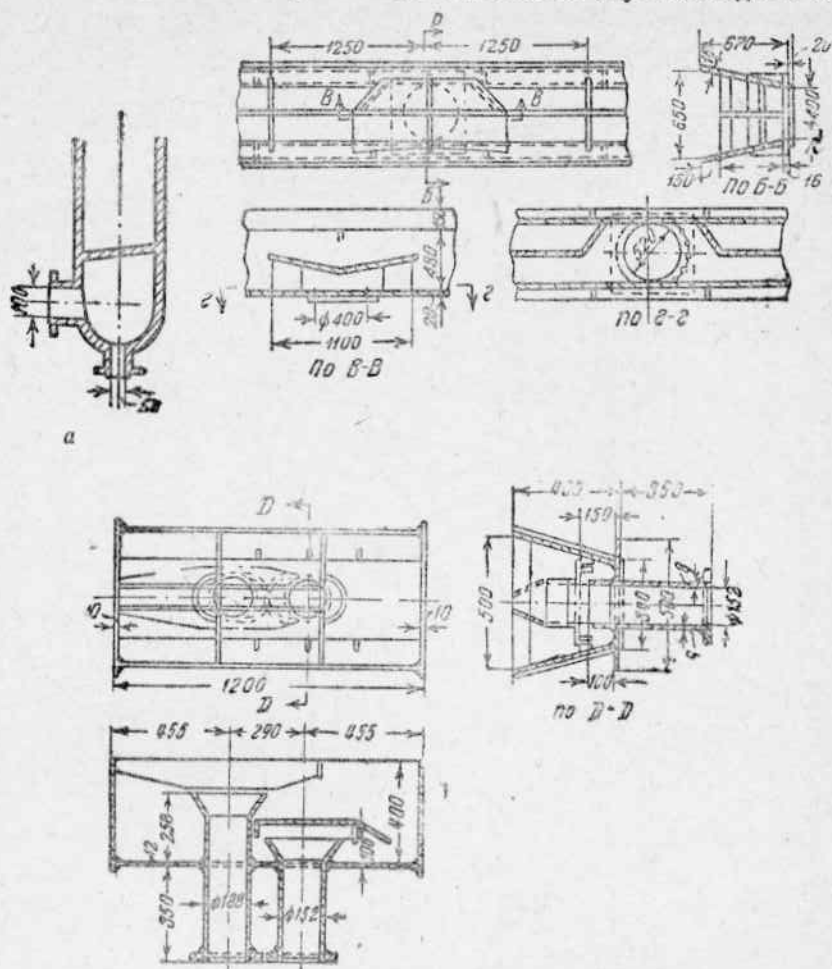


Фиг. 145. Развод трубок к холодильникам.



Фиг. 146. Схема охлаждения горна и запечников доменной печи.

На фиг. 147, в показано водосборное корыто, которое часто применяется для отвода воды и устанавливается около колонны доменной печи. Для обеспечения большей надежности в работе оно снабжается двумя отводами воды, рас-

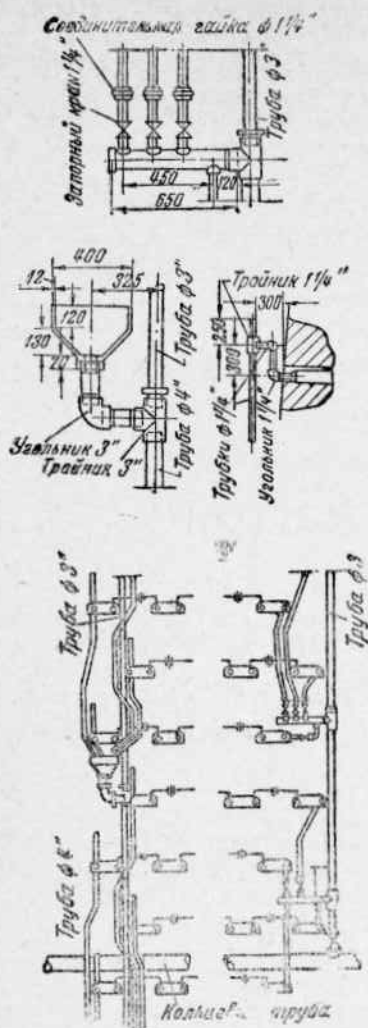


Фиг. 147. Водосборное корыто: *а* — в комбинации с водопроводом;
б — кольцевого типа; *в* — короткое.

положенными на разной высоте. Для исключения попадания воздуха отводы покрыты диафрагмой.

Весьма удобно в работе устройство, изображенное на фиг. 148, для подвода и отвода воды, примененное по предложению инж. А. Н. Рамм для второй типовой доменной печи. Водоразборная колонка и резервуар здесь совмещены и устанавливаются позади колонны доменной печи. Водоразборная колонка имеет 16 вентилей, которые занумерованы отлитыми цифрами, что значительно облегчает работу водопроводчика. Соответственно вентилям в верхней части водосборного резервуара располагаются полукругом 16 водопроводных трубок, которые подают воду в резервуар. Резервуар сверху закрыт крышкой, имеющей прорезь, через которую можно видеть концы трубок и струю воды, вытекающую из них. Крышка с прорезью помещается на высоте около 1,5 м от площадки, что удобно для обслуживания.

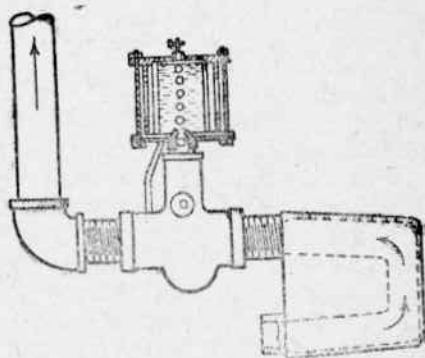
Отвод воды из резервуаров производится при помощи трубы. Отдельные трубы от резервуаров соединяются в одну общую и идут к водостоку. В случае ненормального повышения уровня воды в резервуаре предусматривается сливная труба, которая соединяется со сливной канализацией.



Фиг. 149. Подвод и отвод воды для холодильников шахты.

фиг. 150. Этот прибор представляет собой тройник, который соединяется со стеклянным цилиндром, помещенным в металлическую оправу. Тройник устанавливается на отводе постоянно, а цилиндр может присоединяться к нему. При помощи крана вода из отводящей трубки может быть подана в цилиндр. Для определения перегретого холодильника необходимо при помощи вентиля или крана понизить давление подводимой к холодильнику воды настолько, чтобы оно было ниже, чем давление в доменной печи. После этого открывается кран, расположенный в верхней части стеклянного цилиндра и в том случае, если имеет место прогар холодильника, в цилиндре будет наблюдаться выделение пузырьков газа.

Указанный прибор для определения прогара холодильника может быть стационарным или переносным. Более целесообразно в наиболее важных местах отводные трубки от холодильников снабдить стационарными приборами.



Фиг. 150. Указатель порчи охлаждающих приборов системы Мюллена.

На некоторых заводах проверку холодильников на течь упростили по сравнению с обычным трудоемким опрессованием при помощи ручного насоса. К отводящей трубке холодильника присоединяется гибким шлангом трубка, снабженная чувствительным манометром и краном. Понижение показания манометра при закрытом кране указывает на наличие течи холодильника. Такой прием обнаружения дефектов холодильников прост и практичен. Очистка трубок водопровода и холодильников весьма полезна, производят ее во многих случаях при помощи стального канатика, присоединяемого к небольшому мотору переносного типа при помощи муфты.

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЗАСЫПНЫЕ АППАРАТЫ ДРЕВЕСНОУГОЛЬНЫХ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

ГЛАВА

ОСНОВНЫЕ ПРИЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ

§ 1. О значении распределения материалов в доменных печах

Экономичность доменной плавки определяется контактом газов, поднимающихся от фурменных очагов, и столба шихты, опускающегося в объемы, освобождаемые в горне сгоранием горючего у фурм за счет поступающего в печь дутья.

На улучшение контакта газов с рудной составляющей столба шихты можно влиять: дроблением крупных кусков, отсевом мелочи и ее агломерацией, обжигом некоторых сортов руд и другими способами подготовки руд к доменной плавке. Подготовка руд улучшает доступность рудных линз и кусков руды для восстановительных газов, что, в свою очередь, ускоряет прохождение восстановительных процессов.

Кроме подготовки руд к доменной плавке, необходимо обеспечить такое распределение рудной сыпи по сечению печи, чтобы поднимающиеся кверху от фурменных очагов газы не могли проходить через печь, минуя опускающиеся рудные линзы и не сделав при этом полезной работы по нагреванию и восстановлению рудной сыпи.

В доменной печи руда, как более тяжелый материал, по сравнению с горючим, идет вертикально вниз, заметно не перераспределяясь в горизонтальном направлении, поэтому дефекты в распределении материалов, полученные на колошнике, будут иметь место и при сходе материалов в горн, обуславливая при этом соответственный характер газового потока.

Скорости газового потока по сечению доменной печи находятся в зависимости от распределения рудной сыпи. Там, где газовый поток встречает наибольшее количество рудной сыпи, скорости его минимальные. По мере уменьшения количества рудной сыпи скорости газового потока возрастают.

Изложенное объясняется тем, что разницу в сопротивлении столба шихты прохождению газов определяет, главным образом, разница в толщине рудных линз в радиальном направлении.

Газовый поток в доменной печи чрезвычайно чувствительно реагирует изменением скоростей на все изменения, имеющие место при прохождении доменной плавки в отношении: распределения материалов, проницаемости столба шихты, прохождения процессов шлакообразования, развития фурменных очагов, распределения температур и т. д. Нельзя считать газовый поток в доменной печи стационарным, не изменяющимся на протяжении работы при одних и тех же сырых материалах и колоше горючего. Скорость прохождения газа через сечение печи в единицу времени определяется его количеством, а также оказывает влияние на его состав и температуру. Обычно содержание углекислоты в газе понижается, а температуры возрастают при увеличении скорости газового потока, что находится также в прямой зависимости от количества рудной сыпи, встречаемой на пути газового потока от фурменных очагов горна до выхода из столба шихты.

Управление газовым потоком в доменной печи можно осуществить распределением материалов по сечению колошника, а по расходу горючего в значительной степени можно судить о возможной производительности печи.

Итак прохождение доменного процесса в целом находится в зависимости от контакта газов со столбом шихты, а следовательно и от распределения материалов.

Вредное влияние плохого распределения материалов на ведение процесса не может быть устранено даже хорошей подготовкой сырых материалов к доменной плавке. Высокая производительность печи и получение качественных чугунов зависят от хорошего контакта газового потока со столбом шихты.

§ 2. Понятие об оптимальном распределении материалов по сечению колошника

Длину фурменного очага при форсированном ходе доменной печи можно считать при работе на древесном угле около 1,0 м, а при работе на коксе — до 1,5 м. Таким образом, полная активизация площади горна имеет место при диаметре последнего в древесноугольной печи равном 2,0 м, а коксовой — 3,0 м.

При полной активизации площади горна оптимальное распределение рудной сыпи должно обеспечить по сечению колошника, примерно, одинаковые скорости газового потока, температуры и содержания углекислоты, а это потребует для малых горнов, при профиле нормального типа, почти равномерной толщины рудной линзы. Даже и в этом случае, учитывая тенденцию газа проходить около стенок вследствие разрыхления материала при расширении профиля, лучше иметь несколько большую толщину рудной линзы у стенки печи. При профиле доменной печи с диаметром колошника большим, чем диаметр горна, упомянутого утолщения рудных линз около стенок печи не потребуются, а в тех случаях, когда колошник был много больше горна (старые профили печей) возникла надобность даже некоторого уменьшения толщины рудной линзы у стенки печи для получения несколько более мощного периферийного потока газов и устранения наклонности к образованию настывей на стенках шахты.

При диаметре горна коксовой доменной печи свыше 3 м, а древесноугольной свыше 2 м в центральной части горна образуется неактивная площадь. Чем больше диаметр горна, тем эта неактивная площадь больше.

Наличие неактивной площади горна требует облегчения его работы по прямым восстановительным процессам, чего можно достигнуть лучшей подготовкой перед приходом в горн центральной части рудных линз, находящихся над неактивной площадью горна.

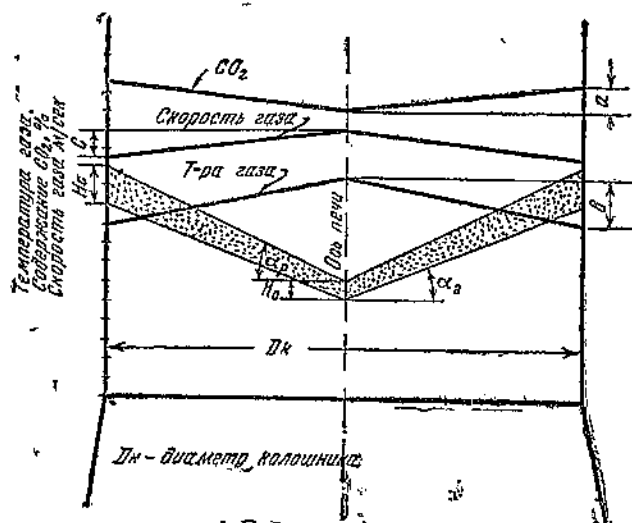
Указанного можно добиться некоторым уменьшением в этом месте толщины рудной сыпи, что улучшит проницаемость центральной части столба шихты, обеспечит проход большего количества газов и позволит более полно провести процессы не прямых восстановлений.

Абсолютное большинство современных доменных печей имеет нормальный или бутылкообразный профиль, диаметры же горнов древесноугольных печей почти всегда больше 2 м, а коксовых больше 3 м, поэтому нельзя требовать в этих случаях одинаковых скоростей газа, температур и содержания углекислоты по сечению колошника.

Оптимальное распределение материалов на современных доменных печах, имеющих широкие горны, будет иметь место тогда, когда толщина рудной сыпи будет уменьшаться по направлению к оси доменной печи. При уменьшении толщины рудной сыпи в радиальном направлении максимальное содержание углекислоты при нормальном профиле доменной печи будет у стенки печи. Чем шире горн, тем при оптимальном распределении материалов между содержанием углекислоты у стенки печи и у оси может быть допущена большая разница. Соответственно изменению содержания углекислоты можно допустить по направлению к оси доменной печи увеличение скорости газового потока, а также некоторый рост температур.

На фиг. 151 приведено сечение рудных линз, соответствующее оптимальному распределению материалов, а также кривые состава газа в отношении содержания углекислоты, скорости газового потока и температуры.

Если H_c — высота рудной линзы у стенки печи, а H_o — высота у оси, то разница $H_c - H_o$ будет зависеть от углов естественного откоса руды и горючего и от диаметра колошника.



Фиг. 151. Оптимальное распределение руды и состав газа в отношении содержания CO_2 , скорость газа и температура по сечению колошника.

Чем больше диаметр горна, тем разница высот $H_c - H_o$ должна быть больше для соблюдения условий оптимальной засыпи. Соответственно этому может быть допущено большее снижение содержания углекислоты a , большее повышение у оси печи скорости газа c и его температуры v .

Чем толще рудная линза, тем больше затрудняется проникновение газов во внутренние ее части. В связи с этим порошковатые руды, как правило, требуют меньшей толщины рудной линзы, тогда как кусковые руды и агломерат позволяют иметь большую толщину.

Объем рудной сыпи в условиях оптимальной засыпи определяется геометрической формулой:

$$V = \frac{1}{12} \pi D_k^3 (\operatorname{tg} \alpha_p - \operatorname{tg} \alpha_s) + \frac{\pi D_k}{4} \cdot H_c,$$

где V — объем рудной линзы,

D_k — диаметр колошника,

α_p — угол естественного откоса руды,

α_s — угол естественного откоса горючего,

H_c — толщина рудной линзы у стенки печи.

Угол естественного откоса руд колеблется для различных сортов от 35 до 40° , а горючего от 26 до 28° для кокса и до 30° для древесного угля.

В зависимости от толщины рудной линзы у оси печи H_o объем линзы выражается:

$$V = \frac{1}{12} \pi D_k^3 (\operatorname{tg} \alpha_p - \operatorname{tg} \alpha_s) + \frac{\pi D_k}{4} \left[H_o + \frac{D_k}{2} (\operatorname{tg} \alpha_p - \operatorname{tg} \alpha_s) \right].$$

Для обеспечения оптимального распределения материалов, задаваясь толщиной рудной линзы у оси печи, можно определить объем рудной сыпи в колоше.

Однако, получить оптимальное распределение путем естественного откоса возможно лишь при малом диаметре колошника.

При большем же диаметре колошника высота рудной линзы у стенки печи получается очень большой, что препятствует увеличению колоши до такого размера, чтобы у оси доменной печи получалась известная толщина рудной сыпи, за счет сыпания по углу естественного откоса.

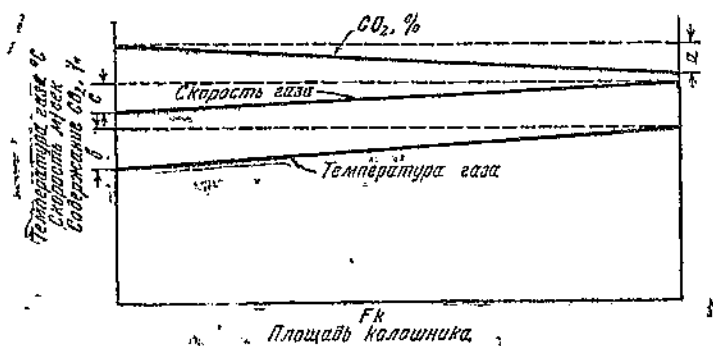
При угле естественного откоса кокса в 26° и руды в 40° для получения у оси доменной печи толщины рудной сыпи в 100 мм, необходимо иметь для различных диаметров колошника нижеследующие размеры коксовой и рудной колош и толщину рудной сыпи у стенки печи (см. табл. 5).

Таблица 5

Толщина рудной сыпи и размеры рудной и коксовой колош в зависимости от диаметра колошника

Диаметр колошника, м	Толщина рудной сыпи, м		Размер рудной колоши		Размер коксовой колоши
	у оси	у стенки	м ³	т	
3	0,10	0,62	7,0	17,5	10
4	0,10	0,80	14,7	35,0	20
5	0,10	0,97	28,5	71,0	40
6	0,10	1,15	45,7	114,0	65
7	0,10	1,35	79,6	199,0	110
8	0,10	1,50	117,2	283	160

Из таблицы видно, что при разнице углов естественного откоса руды и горючего в 14° , можно получить оптимальное распределение материалов за счет ссыпания руды по углу естественного откоса, с периферии к оси печи только



Фиг. 152. Использование физического тепла, восстановительной способности газа и скорости газового потока при оптимальной засыпке.

при очень малом диаметре колошника (до 3 м). При диаметре колошника выше 3 м для того, чтобы руда попала к оси доменной печи, необходимо давать очень большую колошу и большую высоту рудной сыпи у стенки печи, что недопустимо по условиям проницаемости.

При уменьшении разницы в углах естественного откоса руды и горючего поступление руды с периферии к оси доменной печи будет несколько возрастать, но и при самой минимальной разнице нельзя ждать того, чтобы оптимальное распределение материалов было получено ссыпанием руды по углу естественного откоса.

При работе на коксе самое большее ссыпание руды по углу естественного откоса, близкое к оптимальному распределению, можно получить повидимому при диаметрах колошника не выше 3—3,5 м и то при большой колоше, которую можно иметь лишь при хорошо подготовленных к плавке сортированных по крупности кусковых рудах или агломерате.

Для правильного суждения использования физического тепла и восстановительной способности газа, а также скорости газового потока необходимо рассматривать в координатах, учитывающих значение площади, так как при линейных координатах по диаметру колошника в радиальном направлении не учитывается возрастающее значение площадей колец одинаковой ширины.

На фиг. 152 представлены примерные кривые содержания углекислоты, температуры и скорости газов по сечению колошника в площадных координатах.

Снижение содержания углекислоты a , повышение температуры b и скорости c у оси доменной печи по сравнению с периферией является желательным и получается при оптимальном распределении материалов, обеспечивающем некоторую разгрузку центральной неактивной части широких горнов.

Чем шире горн, тем значения a , b и c могут быть больше, что важно для экономичности доменной плавки.

В площадных координатах отношение площади кривой содержания углекислоты в газе, к площади прямоугольника с ординатой, равной максимальному содержанию углекислоты в сечении колошника, будет характеризовать использование восстановительной способности газа.

Чтобы облегчить при широком горне влияние его неактивной части на восстановительные процессы, можно и нужно допускать небольшое снижение содержания углекислоты по направлению к оси печи и коэффициент использования восстановительной способности газа меньше единицы с одновременным незначительным повышением температуры и скорости газа по упомянутому выше направлению к оси печи.

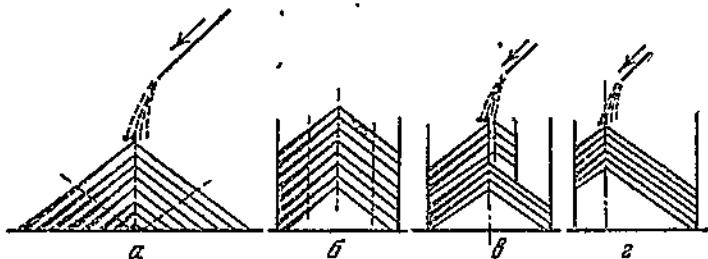
Чем больше диаметр горна, тем сильнее будет уменьшаться коэффициент использования восстанавливающей способности газа при выходе из колошника по сравнению с максимальным значением равным единице.

§ 3. Распределение материалов с опускающегося конуса (прием, предложенный Парри)

1. Общие соображения

При загрузке руды с эстакад мелочь падает ближе к эстакаде, а куски откатываются.

При ссыпании материала со всякой наклонной плоскости куски падают с определенной скоростью, зависящей от угла наклона плоскости, размеров и формы кусков. Траекторией падения кусков материала является парабола.



Фиг. 153. Сортировка шихты по размерам частиц при скатывании с наклонной плоскости: a — куча с естественными откосами; $б$ — куча с гребнем посередине, $в$ и $г$ — кучи с гребнями, смещенными в разные стороны от стенок.

Чем крупнее кусок и чем больше он приближается по своей форме к шару, тем большей скорости он достигает к моменту оставления наклонной плоскости и тем дальше откатывается от конца ее. Мелкие куски будут иметь меньшую скорость при оставлении ими наклонной плоскости, а поэтому их траекторией падения является парабола, близко приближающаяся к прямой.

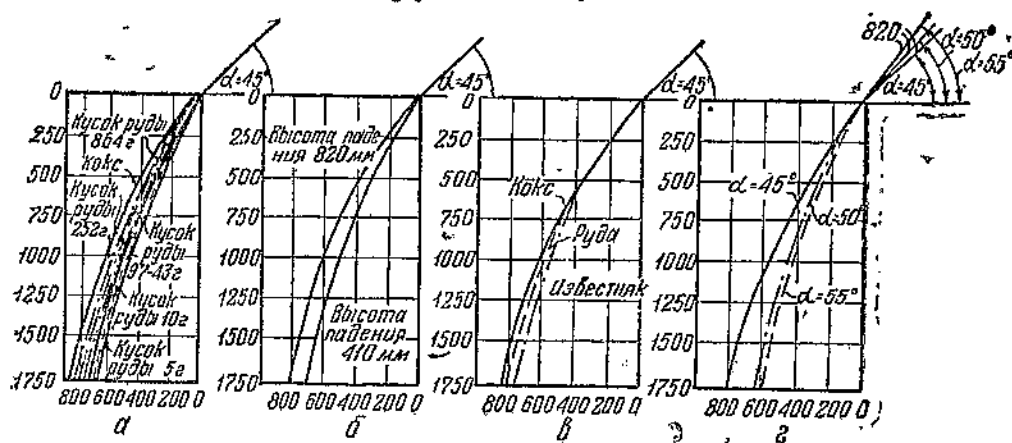
На фиг. 153, a показано ссыпание руды с наклонной плоскости и распределение в куче с естественными откосами мелочи и крупных кусков. Сосредоточение крупных кусков показано утолщениями линий.

На фиг. 153, $б$ можно видеть состояние кучи в стенках с гребнем посередине при ссыпании с наклонной плоскости.

Образование кучи и рассортирование кусков при скатывании с наклонной плоскости в зависимости от ее положения по отношению к стенкам можно видеть на фиг. 153, $в$ и $г$.

Сечение кучи (фиг. 153, а) представляет равнобедренный треугольник, причем в левой половине кучи находится более крупная руда, а в правой более мелкая в соответствии с рассортированием, которое получается при сыпании с наклонной плоскости. Последовательность расположения материалов в отношении кусковатости следующая: крупные куски, крупный орешек, мелочь, мелкий орешек.

При падении материала в пространство, ограниченное вертикальными стенками (фиг. 153, б), распределение материалов остается без изменения, если наклонная плоскость расположена так, что гребень кучи располагается посередине. Если справа поставить стенку, как это показано на фиг. 153, в, то правая часть кучи будет расти быстрее левой и часть материала будет пересыпаться



Фиг. 154. Траектории падения материалов с наклонной плоскости:

- а — в зависимости от размера кусков при постоянной высоте скатывания 820 мм;
- б — в зависимости от высоты скатывания для кусков руды одинаковых размеров (864 а);
- в — в зависимости от сорта материала при постоянной высоте скатывания 820 мм.

влево, отношении крупности будет слева направо следующая картина: крупные куски, орешек, мелочь.

Если сдвинуть наклонную плоскость по отношению к стенкам с соотношением 1 : 3, то влево от гребня расположатся преимущественно крупные куски, а справа вначале мелочь, а потом орешек.

Вполне аналогичное по характеру распределение материалов может иметь место и в доменной печи с той разницей, которая обуславливается заменой плоской наклонной стенки конусом, опускающимся вниз.

Характер траекторий падения кусков руды и кокса, полученных при исследовании инженерами М. Б. Позиным и Н. Л. Гольдштейном, приведен на фиг. 154, а, б, в, г [13].

Увеличение угла наклонной плоскости сильно влияет на характер параболы падения, приближая ее к вертикали.

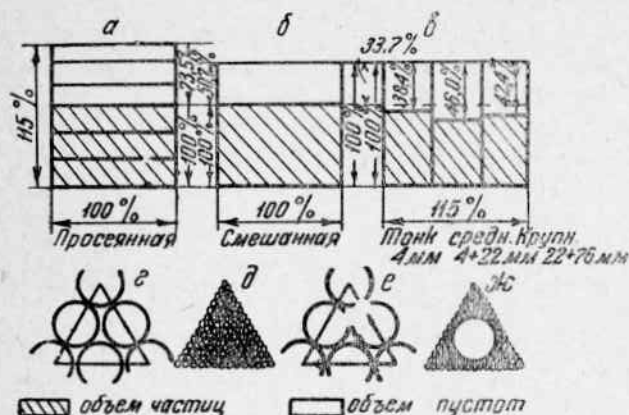
При рассортировке кусков по крупности получается значительное разрыхление кучи. Рейхардт [14] и Джонсон [15] проводили опыты, подтверждающие степень разрыхления материалов при рассортировке по крупности.

При рассеве 1 м³ руды с максимальным размером кусков 75 мм на три класса: крупный, средний и мелкий, путем просеивания через два сита (одно в 4 и другое в 22 меш) получилось увеличение видимого объема материала на 15%. При рассеве размеры сита были так подобраны, что три класса, полученные после грохочения, были одинаковы.

На графиках фиг. 155, а, б, в видно, что в смешанной руде объем пустот занимал 50,7% от объема кусков руды, в то время как после рассева на три класса объем пустот вырос до 73,5%. Мелкая фракция дала 38,4%, средняя

46,0% и крупная 42,4% пустот общего объема руды. Объем пустот увеличился на 50%.

Так как в доменной печи пустоты заполняются газом, то увеличение их сильно способствовало бы улучшению проницаемости и прохождению восстано-



Фиг. 155. Разрыхление шихты при разделении по размерам частиц: а — объем пустот в просеянной руде; б — объем пустот в смешанной руде; в — объем пустот при разделении руды на три класса; г — расположение частиц в виде шаров одинакового диаметра; е, ж — расположение частиц в виде шаров разных размеров.

новительных процессов. При кусках одинакового размера, имеющих форму шаров, объем пустот будет одинаков и не зависит от диаметра шаров. Объемы пустот и объемы кусков, ограниченных равно- сторонним треугольником на фиг. 155, г и д, одинаковы. Введение между крупными кусками мелких (фиг. 155, е) и между мелкими кусками крупных (фиг. 155, ж) сокращает объем пустот и таким образом уплотняет материал.

При этом однако не следует считать, что объем пустот определяет газопроницаемость. Кусковая руда, имеющая крупные по размерам пустоты, значительно лучше газопроницаема, чем порошковая руда с мелкими пустотами.

Газопроницаемость зависит от сопротивления трению газа, которое больше при мелких пустотах.

При сыпании руды с конической наклонной плоскости, вследствие увеличения периметра конуса по мере скатывания кусков, получается большее разрыхление и рассортировка материалов, чем при скатывании с прямой наклонной плоскости.

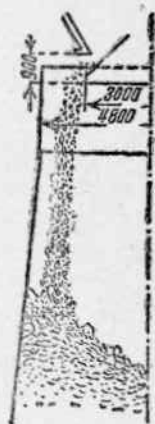
Схема образования откоса при засыпи с конуса в доменную печь приведена на фиг. 156, причем видно, что кусковый материал рудной сыпи может падать при известных условиях к стенке печи, а также может откатываться к оси.

В зависимости от размера конуса, высоты падения, скорости опускания конуса, характер распределения кусков и мелочи в радиальном направлении может меняться, так же как меняется и поверхность рудной сыпи. При засыпи с опускающегося конуса можно получить два типа сечений рудных линз. Первый тип сечения рудной линзы характеризуется наличием гребня рудной сыпи у стенки печи, как это видно на фиг. 157 (замер произведен автором на доменной печи № 1 Магнитогорского завода).

Угол откоса кокса в печи был ниже угла естественного откоса и составлял всего $24^{\circ}30'$. Рудные линзы выклинивались, не доходя до оси печи, оставляя при диаметре колошника в 6,1 м круг диаметром 3,1 м, не покрытый рудой при колоше 7,8 м.

Второй тип сечения рудной линзы, который может получиться при засыпи с опускающегося конуса, характерен положением гребня на некотором расстоянии от стенки печи и наличием двух откосов: одного по направлению к стенке, а другого по направлению к оси печи.

На фиг. 158 представлено состояние засыпи в одной из американских доменных печей, наблюдавшееся Довелом, с гребнем руды, расположенным на некотором расстоянии от стенки печи.



Фиг. 156. Схема образования воронки при засыпи.

Контакт газов со столбом шихты, как уже указывалось выше, в большой степени зависит от распределения материалов, почему детальное рассмотрение влияния на него сечения рудных линз представляет большой интерес.

Так как до настоящего времени не изучено влияние на распределение материалов газового потока, то приходится вести рассмотрение распределения материалов без учета этого влияния, что дает только приближенную к действительности картину.

2. Засыпь с гребнем рудной линзы у стенки печи

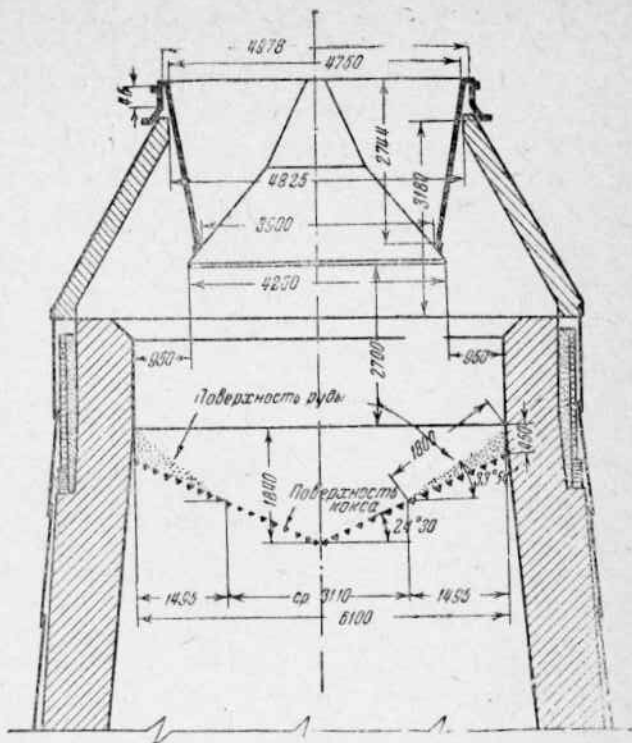
В отношении оптимального распределения материалов засыпь с гребнем у стенки печи наиболее желательна и при приеме Парри считается нормальной. Значительной толщины рудной сыпи у оси современной большой доменной печи получить невозможно и характер распределения материалов приобретает вид выклинивающейся рудной линзы. В редких случаях выклинивание получается у оси печи, в большинстве случаев оно имеет место, не доходя до нее.

Объем рудной линзы при ее выклинивании у оси печи равен:

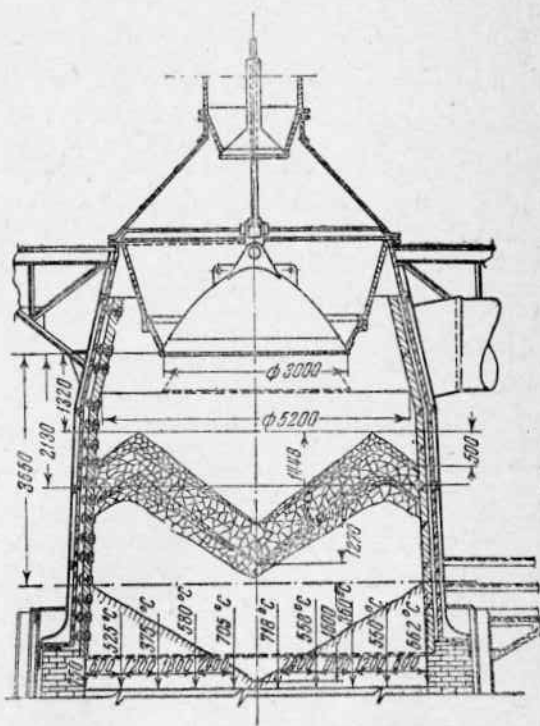
$$V = \frac{1}{12} \pi D_k^2 (\operatorname{tg} \alpha_p - \operatorname{tg} \alpha_g),$$

где D_k — диаметр колошника,
 α_p — угол естественного откоса руды,
 α_g — угол естественного откоса горючего.

На фиг. 159 с левой стороны показано схематическое расположение рудных линз с выклиниванием у оси печи, на фиг. 159 справа — расположение рудных линз с выклиниванием, не доходя до оси печи, наиболее часто встречающееся в практических условиях.



Фиг. 157. Состояние засыпи в доменной печи №1 Магнитогорского завода, замеренное перед задувкой 31 января 1932 г.



Фиг. 158. Состояние засыпи в одной из американских доменных печей по наблюдениям Довела.

В этом случае объем рудной линзы определяется:

$$V = \pi \left(\frac{1}{12} \frac{D_k^2}{R} - \frac{D_k^2}{4} + \frac{1}{3} r^3 \right) (\operatorname{tg} \alpha_p - \operatorname{tg} \alpha_s),$$

где D_k — диаметр колошника;
 r — радиус круга непокрытого рудной сыпью,
 α_p — угол естественного откоса руды,
 α_s — угол естественного откоса горячего.

Получение гребня рудной линзы около стенки печи зависит от диаметра конуса и от глубины уровня засыпи.

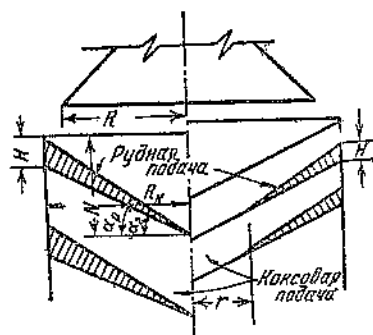
Из схемы (фиг. 160) видно, что только при достаточно большом диаметре конуса можно получить гребень, расположенный у стенки печи.

При меньших диаметрах конуса будет иметь место распределение с гребнем, находящимся на некотором расстоянии от стенки печи.

Чем меньше диаметр конуса, тем большую глубину уровня засыпи необходимо иметь при работе для получения гребня рудной линзы у стенки печи.

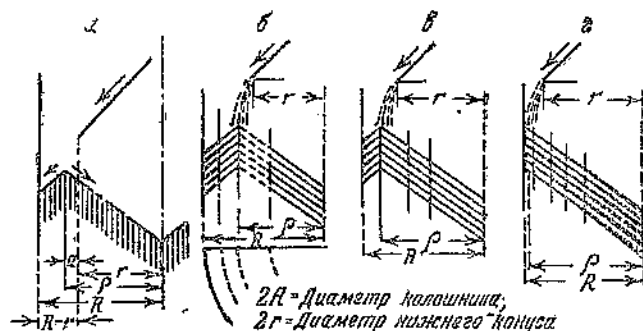
Из фиг. 161 видно, что превышение уровня засыпи по сравнению с нормальным, необходимым для получения гребня у стенки печи, влечет за собой отход гребня от стенки и тем больший, чем меньше глубина засыпи.

Варьирование глубиной засыпи по сравнению с нормальной влечет за собой получение нежелательного отхода гребня рудной линзы от стенки доменной печи и чем больше фактическая глубина засыпи будет отличаться от нормальной, тем на большую длину гребень отойдет от стенки и тем в большей степени будет иметь место ухудшение распределения материалов по сечению ко-

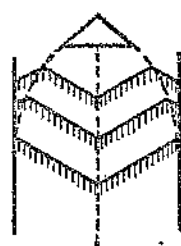


Фиг. 159. Распределение рудных линз с выклиниванием и гребнем у стенки печи.

мальной, тем на большую длину гребень отойдет от стенки и тем в большей степени будет иметь место ухудшение распределения материалов по сечению ко-



Фиг. 160. Влияние размеров конуса на распределение материалов. а — схема образования откосов при загрузке; б — распределение материалов при далеко отстоящем от стенки печи гребне; в — распределение материалов при близко расположенном к стенке печи гребне; г — распределение материалов при гребне, расположенном у стенки печи.

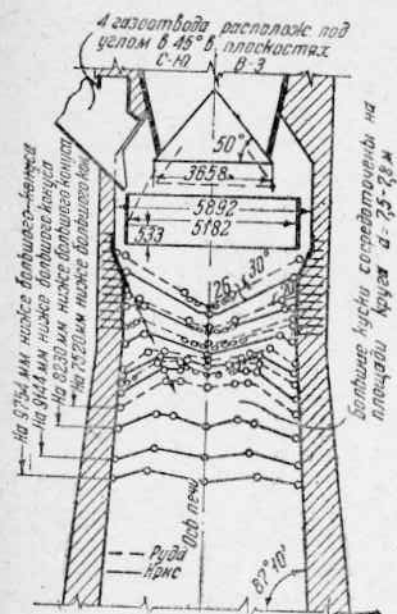


Фиг. 161. Схема зависимости распределения материалов от высоты падения.

лошника. Для получения хорошего распределения материалов нужно не только выбрать правильный размер конуса, но также определить глубину засыпи, при которой получается расположение гребня рудной линзы у стенки печи и на этой глубине засыпи работать, не допуская перегруза или недогруза доменной печи.

Отход гребня от стенки печи при увеличении глубины засыпи отчетливо виден на фиг. 162, причем хорошее покрытие рудой всей поверхности колошника

объясняется небольшой разницей между углом естественного откоса кокса (26°) и рудной сыпи (30°). Такой небольшой угол естественного откоса имеют кусковые пористые руды со сравнительно небольшим весом единицы объема, а также агломераты.

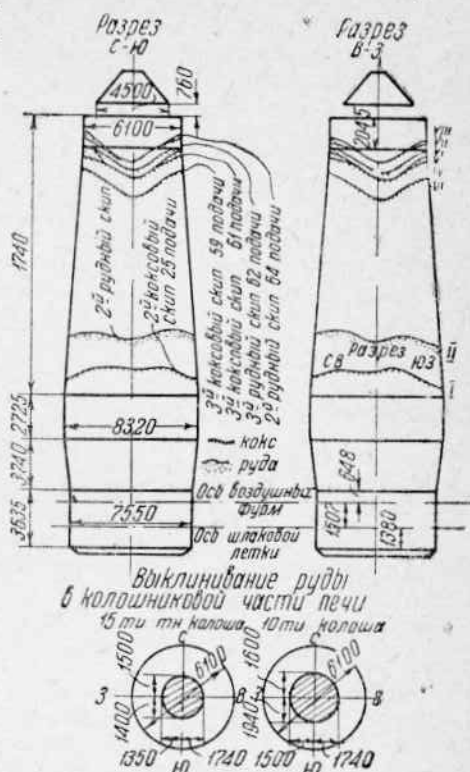


Фиг. 162. Распределение материалов на колошнике доменной печи № 2 завода Републик Стил К° в Бирмингеме (США).

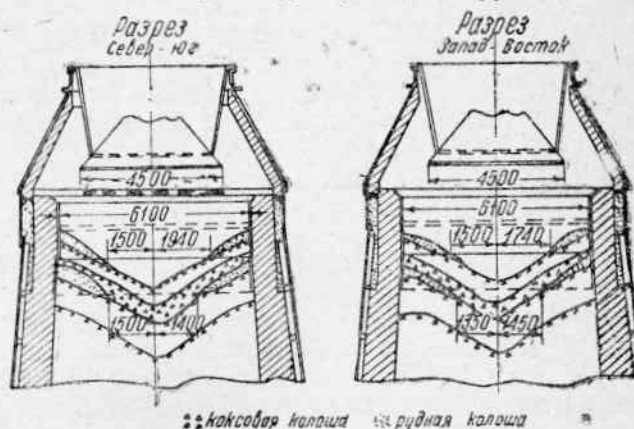
Из сечения рудной линзы, приведенной на фиг. 162, видно, что даже при диаметре колошника 5182 мм можно иметь хорошее распределение рудной сыпи по сечению колошника, если разница между углами естественного откоса руды и кокса невелика; если доменная печь имеет нормальный профиль, то можно также ждать хорошего контакта газов со столбом шихты.

Распределение рудной сыпи с гребнем у стенки доменной печи с широким колошником 6,1 м можно видеть также на фиг. 163 и 164 по исследованию инж. Д. В. Ефремова [17].

Угол естественного откоса кокса в печи Магнитогорского завода колебался в пределах от $26^\circ 40'$ до $32^\circ 50'$, а в среднем был равен $28^\circ 53'$, в то время как угол естественного откоса руды был в пределах от 35° до $39^\circ 35'$, а в среднем равнялся $37^\circ 51'$. Значительная разница в углах естест-



Фиг. 163. Замеры профилей шихты во время загрузки доменной печи № 3 перед задувкой 10—11 июля 1935 г.



Фиг. 164. Распределение материалов в колошниковой части печи.

Венного откоса руды и кокса привела к незаполнению центральной части колошника рудной сыпью.

При 15-тонной колоше выклинивание рудной линзы имело место не доходя 1,35—1,45 м, а при 10-тонной колоше 1,5—1,74 м до оси печи.

Неравномерность сечения рудных линз по окружности является результатом работы аппарата Мак-Ки.

Нормальный уровень засыпи для Магнитогорской доменной печи при диаметре колошника в 6,1 м и диаметре большого конуса 4,5 м был 1,6 м от нижнего положения конуса.

3. Контакт газов со столбом шихты при засыпи с гребнем рудной линзы у стенки печи

При рассмотрении вопроса о контакте газов со столбом шихты в доменной печи при нормальном характере засыпи с опускающегося конуса с гребнем рудной линзы у стенки печи прежде всего следует отметить большую зависимость этого контакта от характера профиля печи и его абсолютных поперечных размеров.

Контакт газов со столбом шихты при нормальном профиле печи и небольшом размере колошника

При засыпи с опускающегося конуса вследствие выклинивания рудных линз даже при небольшом размере колошника получается при нормальном профиле доменной печи недостаточная загрузка рудной сыпью центральной части печи, а вследствие этого значительный осевой поток горячих и слаборботающих на восстановление газов. Максимальное содержание углекислоты в этом случае наблюдается у стенки печи, тогда как в центральной части имеют место максимальные температуры и скорости. По направлению к оси печи содержание углекислоты в газе падает, а температуры и скорости возрастают.

При небольшом размере диаметра колошника порядка 2 м для древесно-угольной и 3 м для коксовой доменной печи осевой поток горячих и слаборботающих на восстановление газов может не получиться. По мере роста размера колошника осевой поток увеличивается и экономичность работы доменной печи падает вследствие ухудшения использования физического тепла и восстановительной способности газов.

При засыпи с опускающегося конуса с гребнем рудной сыпи, расположенным у стенки печи и нормальном ее профиле (доменная печь № 3 Серовского завода) с диаметром горна и колошника равным 3,6 м, было получено использование восстановительной способности газов (на верхнем исследованном горизонте, находившемся на 2,9 м ниже закрытых конусов аппарата) от 54% до 77%, а в среднем 63%.

Такие результаты следует считать для засыпи с опускающегося конуса на древесноугольной доменной печи довольно хорошими.

Контакт газов со столбом шихты при нормальном профиле печи и широком колошнике

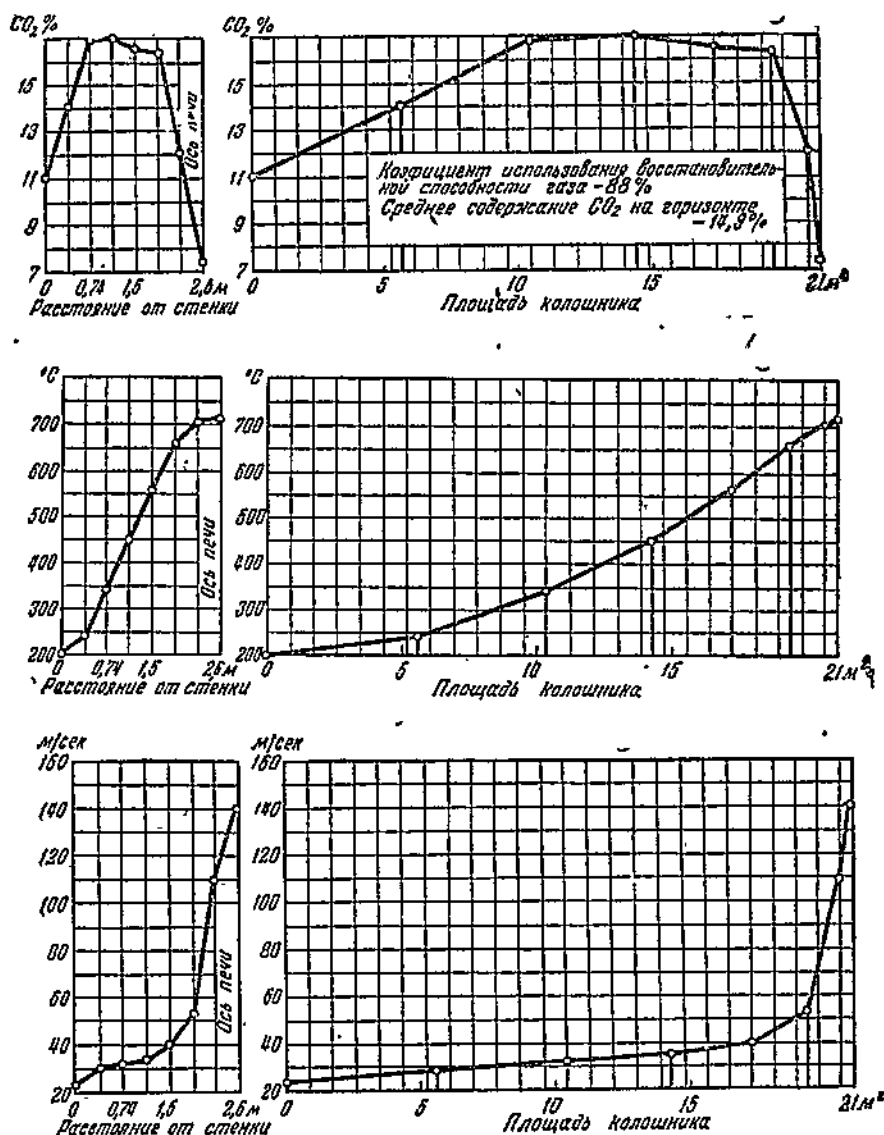
При широком колошнике и нормальном профиле доменной печи засыпь с опускающегося конуса с гребнем, расположенным у стенки печи будет давать мощный осевой поток горячих и неработающих на восстановление газов.

При засыпи с опускающегося конуса контакт газов со столбом шихты при нормальном профиле печи и широком колошнике является несовершенным, обуславливающим повышенный расход горючего и пониженную производительность печи.

Даже при сравнительно умеренном для коксовой доменной печи диаметре колошника в 5,2 м и при нормальном типе профиля с небольшим лишь превышением размера горна ($d = 5,64$ м) над колошником, как показали классические исследования Кинни [18] в доменной печи получается ясно выраженный осевой поток горячих и неработающих на восстановление газов.

На фиг. 165 приведено содержание углекислоты на верхнем горизонте, расположенном на 1,83 м от уровня засыпи.

Из рассмотрения кривых в линейных и площадных координатах видно снижение содержания углекислоты на периферии и в центральной части печи.



Фиг. 165. Кривые содержания углекислоты температур газа и скорости потока газа на верхнем горизонте (по Кинни).

Фиг. 165 дает также представление о распределении температур и потока скоростей газа по сечению колошника на том же горизонте.

Из диаграмм в площадных координатах видно, что осевой поток газов с высокой скоростью до 140 м/сек сравнительно небольшой по площади колошника.

Температуры этого осевого потока доходят до 700°, а содержание углекислоты снижается до 7%.

Периферийный ход газов наблюдается на этой доменной печи только в нижней части. В верхней же части на периферии имеют место невысокие скорости и невысокие температуры при большом снижении содержания углекислоты, что

является необычным, так как снижение содержания углекислоты, как это выявилось при большом количестве исследований, обычно связано с повышением температур и с ростом скоростей.

Упомянутое может быть объяснено тем, что периферийный газовый поток при проходе своем в верхнюю часть печи частично перераспределится по сечению и некоторая часть газа из него перешла в осевой поток. Оставшаяся же на периферии часть газа, имея высокую температуру и встретив на своем пути уже в верхней части шахты недостаточно подготовленную рудную сыпь, израсходовала свое тепло на нагрев шихты и при этом охладилась настолько, что газ из-за охлаждения потерял свою восстановительную способность, вследствие чего содержание углекислоты получилось небольшое.



Фиг. 166. Отношение содержания углекислоты к скорости газа:

Указанное подтверждает нежелательность допущения отхода рудных линз от стенок печи, даже такого небольшого, который имеет место при превышении диаметра горна над диаметром колошника на 400 мм. Очевидно наилучшим из нормальных профилей будет тот, который имеет диаметр горна, примерно равный диаметру колошника.

Что же касается периферийного потока, то он нежелателен не только в верхней части печи, но и в нижних частях шахты, так как следствием этого является понижение восстановительной способности газов при выходе из колошника, что в конечном результате увеличивает расход горючего и снижает производительность печи.

В данных условиях улучшение работы доменной печи было бы возможно за счет исправления профиля печи в отношении уменьшения диспропорции в размерах горна и колошника, некоторого уменьшения величины колоши для ослабления периферийного потока слаборботающих газов, за счет увеличения осевого потока, разрыхления рудных линз применением кусковой руды и агломерата.

На доменной печи, исследованной Кинни, был достигнут коэффициент использования восстановительной способности в 88% без учета скорости, а с учетом ее в 76%, что видно из диаграммы фиг. 166.

При сохранении нормального профиля и при расширении колошника и горна контакт газов будет ухудшаться, по сравнению с тем, который достигим при диаметре колошника в 5,2 м в описанном исследовании, причем это ухудшение в этом случае произойдет вследствие увеличения осевого потока недостаточно работающих газов.

Контакт газов со столбом шихты при бутылкообразном профиле доменной печи

Даже при загрузке, обеспечивающей гребень рудных линз у стенки печи, при бутылкообразном профиле будет получаться резко выраженный периферийный поток горячих и неработающих на восстановление газов. При этом развитие осевого потока неработающих газов будет определяться размером колошника

и величиной колоши. Чем шире колошник и чем меньше размер колоши, тем больше будет осевой поток неработающих газов.

Варьируя величиной колоши, можно и при сохранении гребня у стенки печи изменить распределение газов между осевым и периферийным потоком.

В этом же направлении могут действовать искусственные приемы засыпи, способствующие подаче руды в центральную часть печи (например, загрузка руды поверх коксовой колоши, опускание больших объемов шихты с большого конуса и т. д.).

Периферийный поток неработающих газов является более нежелательным, чем осевой поток, потому что последний только снижает экономичность доменной плавки, в то время как первый кроме этого также сильно сокращает кампанию печи вследствие износа шахты.

Влияние периферийного и осевого потока на использование восстановительной способности и физического тепла газов легко установить при исследовании состава газа в отношении содержания углекислоты, температуры и скорости по сечению колошника. При этом пользование предлагаемыми нами диаграммами в площадных координатах дает материал для правильного суждения о размерах периферийного и осевого потоков и предоставляет возможность на основании этого влиять на распределение газов между указанными потоками в направлении, улучшающем экономичность доменной плавки.

Контакт газов и столба шихты при бутылкообразном профиле несовершенен, а поэтому важно вести доменную печь с таким развитием периферийного и осевого потоков неработающих газов, чтобы все же и в данных неблагоприятных условиях можно было иметь невысокий расход горючего и максимальную производительность печи.

Для подтверждения соображений, относящихся к развитию периферийного потока горячих и неработающих на восстановление газов при умеренном бутылкообразном профиле доменной печи и при засыпи с гребнем рудной линзы у стенки, приведем результаты $1\frac{1}{2}$ -летних исследований Фельдмана и Стокера, проводившихся на одном из заводов Европы [19].

Доменная печь имела диаметр колошника 4,8 м и диаметр горна 5,6 м. Для выяснения характера схода материалов в доменную печь ниже 5 м от колошника вводились сбоку трубы, внутри которых проходил по роликам проволоочный канат с грузом на конце. Изменением положения трубы производилось измерение профиля засыпи действующей доменной печи (это имеет большую ценность по сравнению с измерением положения колош при задувке), хотя при таком замере и не удастся установить площадь колошника, непокрытую рудой, а также толщину рудной линзы в радиальном направлении.

Профиль поверхности воронки засыпи в доменной печи изменяется при опускании. На фиг. 167 приведен профиль поверхности воронки при глубине засыпи в 2,5 м и 4,5 м от нижней кромки большого конуса в опущенном состоянии. Разница глубины воронки получалась порядка 100 мм. Изменение профиля поверхности воронки при опускании без загрузки до глубины в 5,5 м, приведенное на фиг. 168, указывает на сильное увеличение скорости схода материала на периферии. Глубина воронки при сходе на 3 м уменьшилась с 1,83 м до 0,95 м, т. е. на 0,88 м. Как известно, увеличение скорости схода материалов на периферии



Фиг. 167. Распределение материалов по колошнику при различной глубине засыпи.

является следствием расположения фурменных очагов горна и их ограниченного размера в радиальном и поперечном направлении.

Таким образом при работе печи угол наклона поверхности кокса, повидимому, меньше, чем при задувке, а поэтому выклинивание рудных линз будет в действительных условиях больше, чем при задувке печи.

Измерения показали, что при нормальном уровне засыпи (фиг. 168) в 2,5 м, гребень рудной линзы располагается у стенки печи.

По скорости вытягивания каната можно было судить о скорости схода шихты в различных частях печи.

Эти скорости схода были измерены в трех точках: 1) по оси печи, 2) на 1,5 м от стенки, и 3) по вертикали стенки колошника. Результаты опускания засыпи в различных частях нанесены на схеме фиг. 169, из которой видно, что средняя зона, расположенная на 1,5 м от стенки колошника, т. е. находящаяся уже не над фурменными очагами горна, сходила так же медленно как и центральная часть столба шихты, что еще раз служит подтверждением обусловленности схода материалов в доменной печи периферийным расположением фурменных очагов горна.

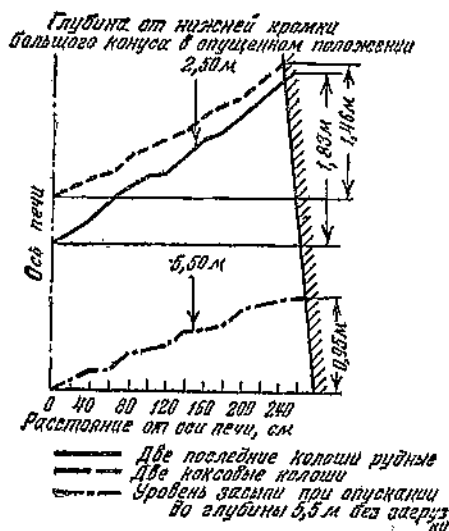
На фиг. 170а приведены результаты исследования в отношении содержания углекислоты, окиси углерода и температур (фиг. 170б) в различных зонах, указанных на фиг. 169.

Измерение температур и состава газа, к сожалению, не доведены до оси печи, что не позволяет судить о развитии осевого потока, но резко выраженный периферийный поток газов, неудовлетворительно работающих на восстановление и нагревание опускающейся шихты, выявлен весьма отчетливо.

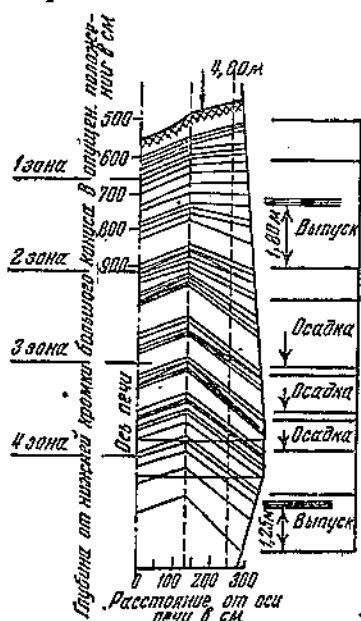
Содержание углекислоты на всех горизонтах у стенки печи минимальное и по мере удаления от стенки возрастает, что указывает на сильный периферийный ход газов. Максимальная температура держится около стенки печи, достигая даже на верхнем горизонте 800°C.

Хотя скорости не были измерены, но максимальные температуры и минимальное содержание углекислоты указывают косвенно на получение на периферии высоких скоростей газов (основание — сходственность температурного и скоростного полей).

В исследованной печи следует признать контакт газов со столбом шихты несовершенным, что при бутылкообразном профиле и при засыпи с гребнем у стенки печи подтверждает наличие периферийного хода газов, снижающего экономичность доменной плавки, производительность печи и ее кампанию, вследствие износа шахты. В данном случае расширение колошника влечет усиление осевого хода газов и в печи появляются два потока недостаточно работающих на восстановление и избыточно нагретых газов — периферийный и осевой.



Фиг. 168. Распределение материалов по колошнику при различной высоте загрузки.

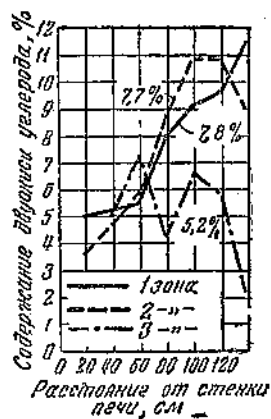


Фиг. 169. Опускание засыпи в различных зонах печи (схема).

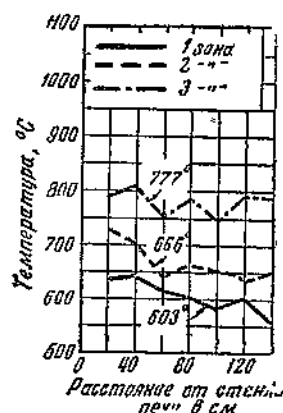
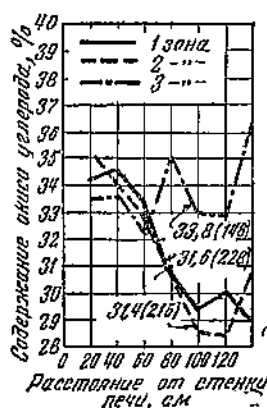
Студентами Уральского индустриального института, ныне инженерами Хохловым, Зайцевым и Горбаневым [20] периферийный и осевой потоки недостаточно работающих газов были обнаружены на доменной печи № 3 Чусовского завода с диаметром колошника 3,5 м и диаметром горна в 4,0 м при полезной высоте в 18,5 м, т. е. при умеренно бутылкообразном профиле с углом наклона шахты в $85^{\circ}38'$.

Зазор между колошником и конусом обеспечивал получение гребня рудных линз около стенки печи.

Интересно отметить, что периферийный и осевой потоки недостаточно работающих газов не исчезли даже после перехода с руды на агломерат весьма хороших механических качеств из кунинских титаномагнетитов,



Фиг. 170а. Содержание углекислоты и окиси углерода на различных горизонтах печи.



Фиг. 170б. Температуры на различных горизонтах печи.

Доменная печь при этом работала на передельные чугуны, содержащие ванадий, с высоким расходом горючего до 1,1 т на тонну чугуна.

На фиг. 171 приведены диаграммы состава газа в отношении содержания углекислоты по горизонту, находившемуся на 2 м ниже уровня засыпи.

С левой стороны диаграмм результаты относятся к стороне, расположенной над чугунной леткой, а с правой — к стороне подъемника. Из диаграмм видно, что на стороне чугунной летки имеется более развитый периферийный ход газов.

Из площадной диаграммы фиг. 172 содержания углекислоты в газе видно, что периферийный поток слабо работающих газов много больше, чем осевой. Улучшение работы печи в этих условиях могло бы быть получено исправлением профиля на нормальный, а также некоторым уменьшением колоши и при существующем профиле. Увеличение отвода газов центральной частью печи сыграло бы положительную роль в отношении уменьшения периферийного потока, вследствие улучшения проницаемости рудных линз при их меньшей высоте.

Разумеется, нельзя считать, что соотношение между периферийным и осевым потоком слабо работающих газов является постоянным. Даже при установившемся режиме доменной печи газовый поток весьма чувствительно реагирует на малейшие изменения режима засыпи, дутья, схода материала и т. д. Очень показательным является распределение температур по сечению шахты доменной печи на 2,2 м ниже уровня засыпи при загрузке с опускающегося конуса по пяти исследованиям Джонсона [21], изображенным на фиг. 173. Диаграмма распределения температур Джонсона при графическом изображении рельефно

выявляет периферийный и осевой поток избыточно горячих газов при загрузке приемом Парри в колошник диаметром 5,4 м.

При всем многообразии изменений температур во всех случаях периферийный и осевой поток слабо работающих газов имеет место и указывает на неудовлетворительность контакта газов

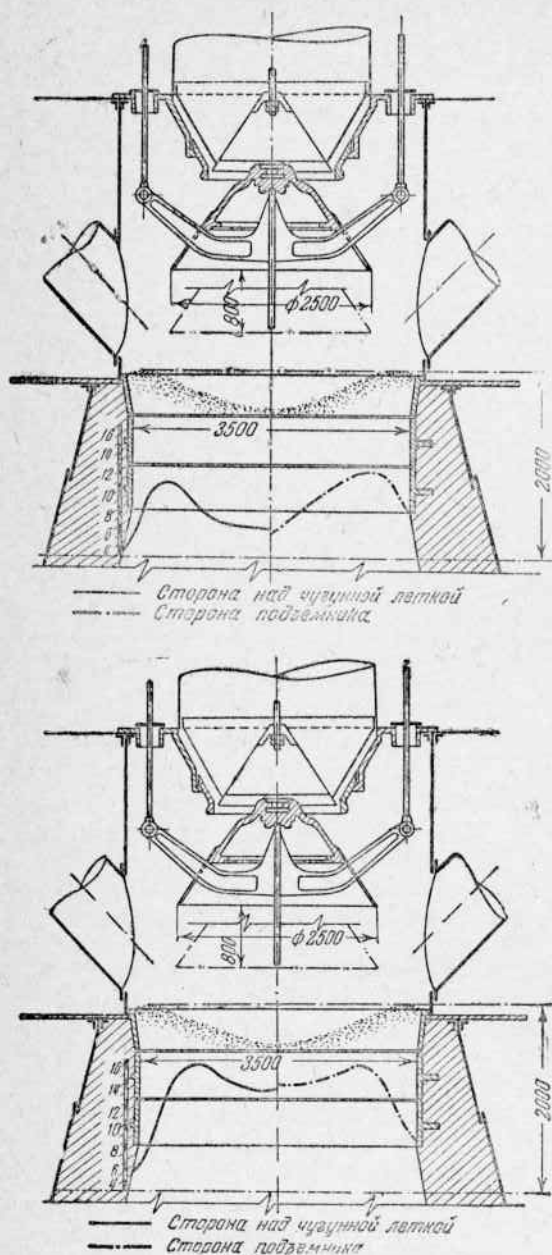
и столба шихты при бутылкообразном профиле печи и при загрузке с опускающегося конуса.

На примере доменной печи № 8 завода им. Дзержинского с диаметром горна — 7,0 м, колошника — 5,5 м, углом наклона шахты $85^{\circ}10'$ при бутылкообразном профиле с превышением горна над диаметром колошника на 1,5 м, имеется возможность показать развитие периферийного и осевого потоков слабо работающих газов на основании результатов исследования инженеров З. М. Некрасова и В. П. Оноприенко [22].

Данные исследования обработаны нами в площадных координатах и изображены на фиг. 174.

При колоте в 7,2 т, количестве агломерата в шихте равным 15%, нагреве дутья 675°C , количестве дутья $1560\text{ м}^3/\text{мин}$ имело место содержание углекислоты, на горизонте, расположенном на 2,7 м ниже большого конуса в опущенном положении, показанное на фиг. 174. Из диаграммы видно, что доменная печь имела резко выраженный периферийный поток газа со слабым использованием восстановительной способности и очень небольшой осевой поток недостаточно работающих газов. Коэффициент использования восстановительной способности без учета скорости был равен 77%. Содержание углекислоты в среднем по сечению без учета влияния скорости будет 12,8%. Авторы исследования неправильно объясняют периферийный ход газов большими размерами фурм. В действительности периферийный ход является больше следствием бутылкообразного профиля доменной печи.

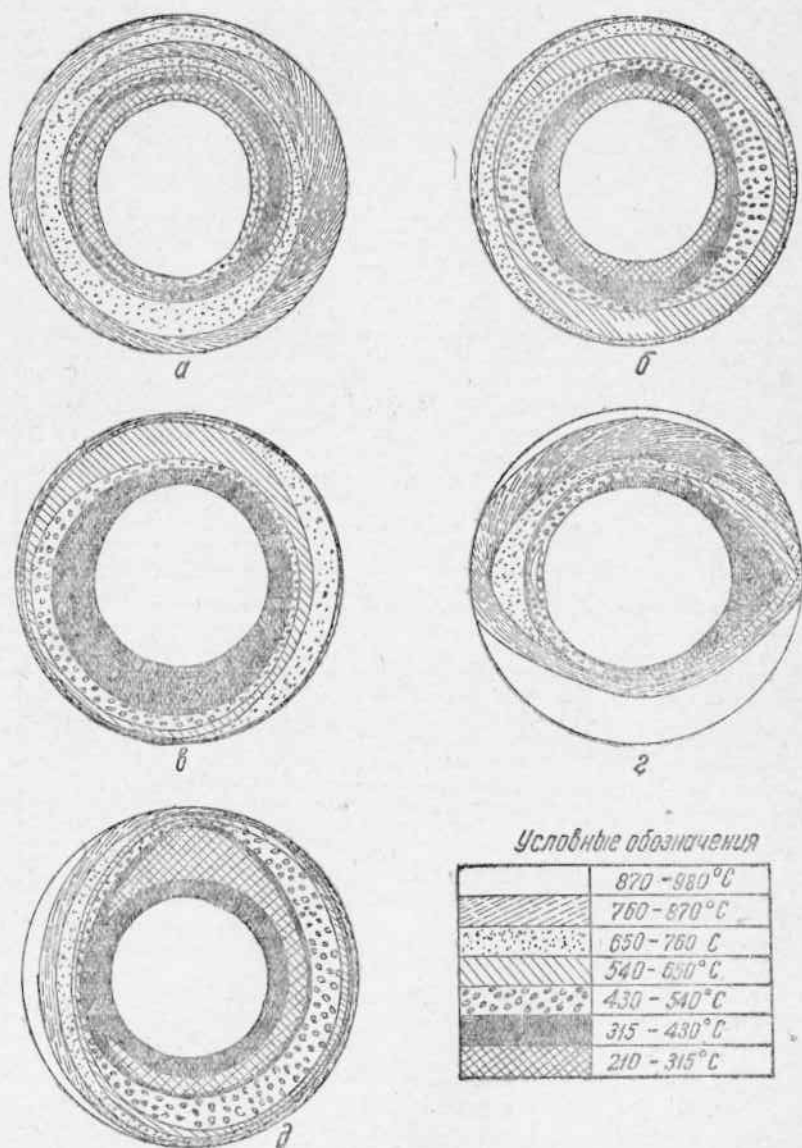
Увеличение количества дутья до $1850\text{ м}^3/\text{мин}$ ничуть не уменьшило периферийный ход недостаточно работающих газов, что видно из диаграммы фиг. 174, где коэффициент использования восстановительной способности даже понизился до 76%, а среднее содержание углекислоты упало до 11,3%.



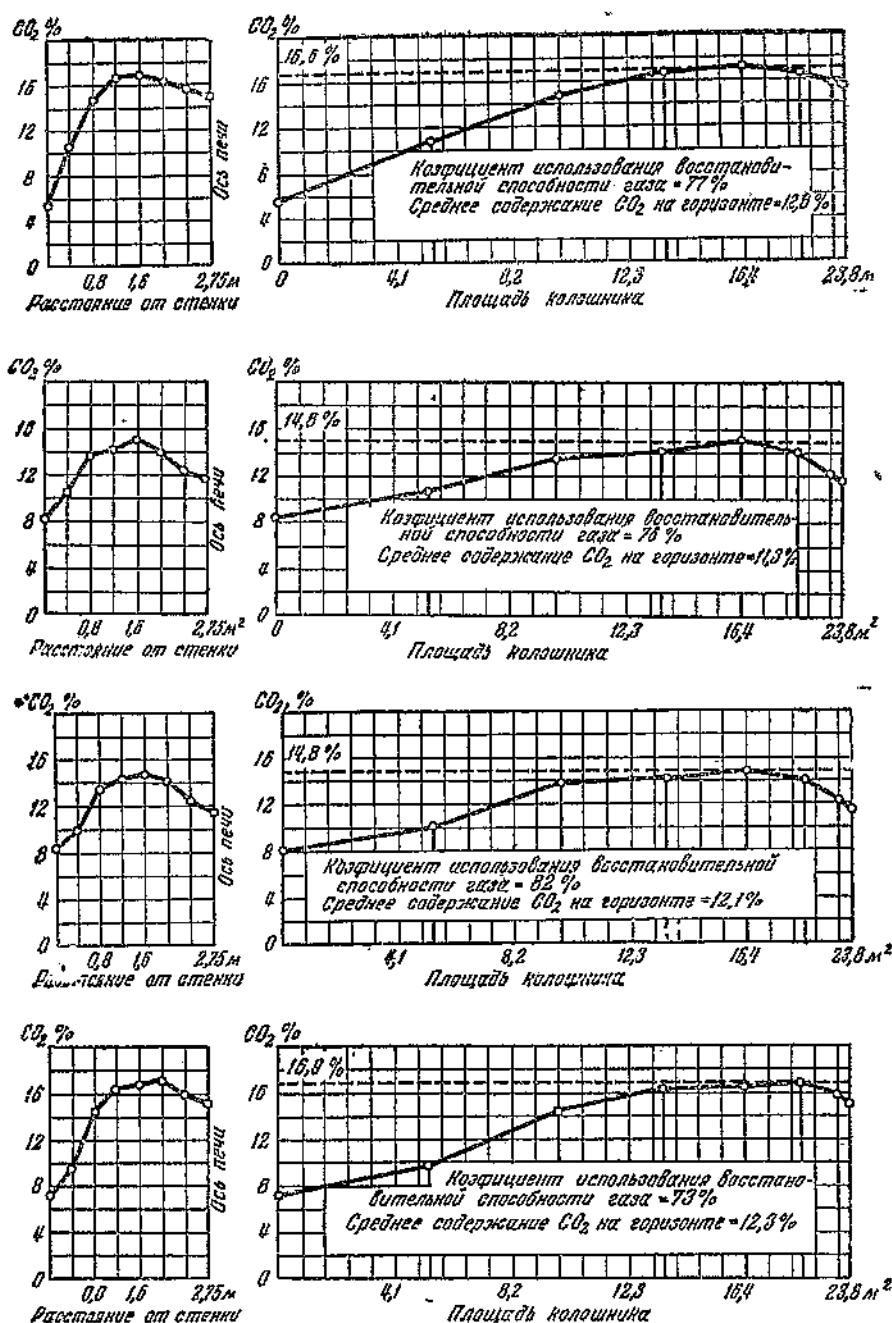
Фиг. 171. Кривые изменения содержания CO_2 в газе по сечению шахты ниже уровня засыпи на 2000 мм для доменной печи № 3 Чусовского завода при работе: вверх — на рудах; вниз — на агломератах.



Фиг. 172. Содержание углекислоты на доменной печи № 3 Чусовского завода.



Фиг. 173. Распределение температур по сечению шахты в современной американской доменной печи с аппаратом Парри (диаметр колошника 5,4 м, на 2,2 м ниже уровня засыпи):
а — период 1; б — период 2; в — период 3; г — период 4



Фиг. 174. Содержание углекислоты на доменной печи № 8 завода им. Дзержинского по исследованиям Некрасова и Оноприенко: верхние две диаграммы — при дутье 1560—1850 $\text{м}^3/\text{мин}$; нижние две — при 17 и 73% агломерата в шихте.

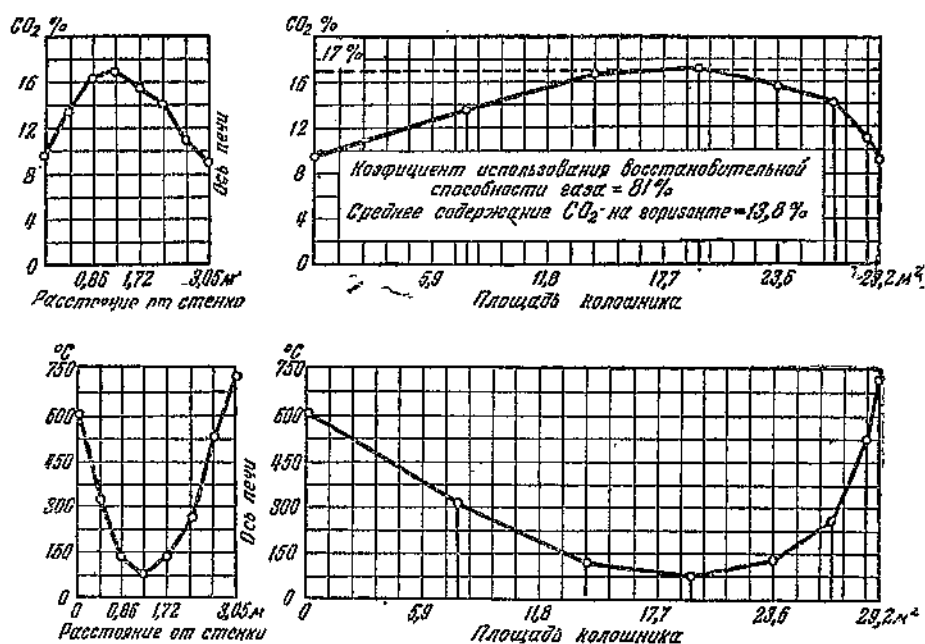
Здесь следует отметить, что увеличение количества дутья было связано с очень небольшим увеличением осевого потока недостаточно работающих на восстановление газов.

Повышение содержания агломерата в шихте при бутылкообразном профиле увеличивает периферийный ход газов, но улучшает условия восстановимости,

благодаря лучшей проницаемости рудных линз.

При 17% агломерата в шихте коэффициент использования восстановительной способности газа без учета скорости был 82%, а при 62% агломерата понизился до 73%. Но так как в то же время среднее содержание углекислоты в газе при переходе с 17 на 62% агломерата в шихте поднялось с 12,1 до 12,3%, то поэтому не получилось ухудшения работы доменной печи. Осевой поток недостаточно работающих на восстановление газов был больше при меньшем содержании агломерата в шихте.

Из рассмотренных диаграмм следует, что главный дефект бутылкообразного профиля при диаметре горна 7 м и колошника 5,5 м заключается в усиленном



Фиг. 175. Кривые содержания углекислоты и температуры на верхнем горизонте доменной печи № 1 Магнитогорского завода (1934 г.).

периферийном ходе недостаточно работающих на восстановление газов и от этого дефекта не спасает даже загрузка с сосредоточением основной массы руды на периферии и с гребнем рудной линзы у стенки печи. Осевой поток недостаточно работающих газов при этом весьма незначителен и не сказывается неблагоприятным образом на работе доменной печи.

При незначительном осевом потоке слаборботающих газов, уменьшение величины колоши благоприятно сказалось бы на работе доменной печи.

Несовершенный контакт газов со столбом шихты в условиях бутылкообразного профиля с весьма большим превышением поперечных размеров горна по сравнению с колошником отчетливо выявлен акад. М. А. Павловым при исследовании доменной печи № 1 Магнитогорского завода [23], имевшей диаметр горна 7,62 м, при диаметре колошника 6,1 м и наклоне стенок шахты 85°42'.

Для удобства анализа кривые исследования представлены нами на ряду с линейными в площадных координатах. Получение достаточно полного представления о работе газов в шахте можно иметь при рассмотрении данных по верхнему горизонту, расположенному на 2,5 м ниже верхней кромки шахты печи. На фиг. 175 представлены кривые содержания углекислоты и температуры в линейных и площадных координатах по сечению колошника на верхнем горизонте по исследованию 1934 г. Из диаграмм видно наличие в доменной печи перифе-

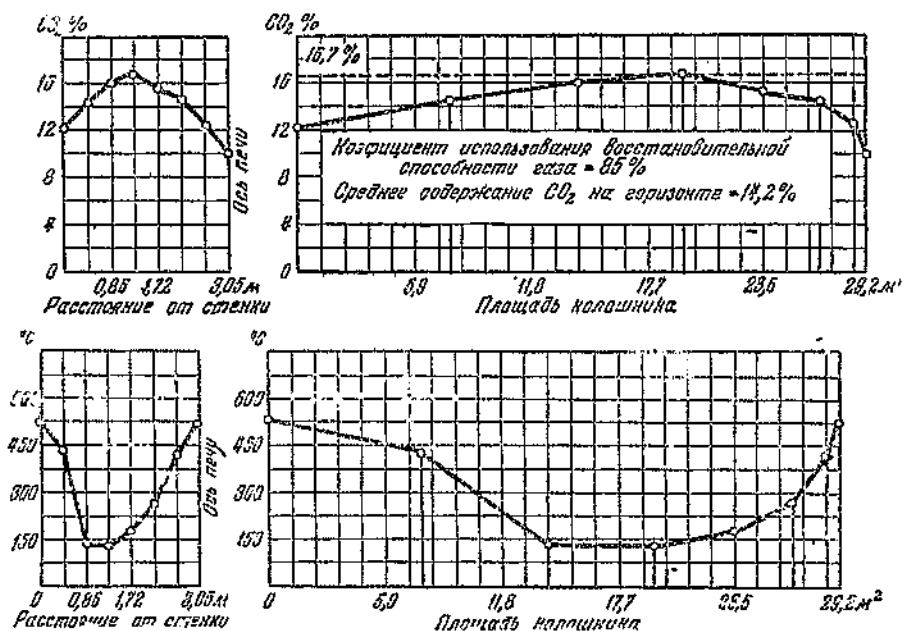
рийного и осевого потоков избыточно нагретых и неудовлетворительно работающих на восстановление газов.

Сравнивая площади периферийного и осевого потока с содержанием углекислоты меньше 17%, видно, что периферийный поток много больше по площади, чем осевой.

Даже без учета влияния скорости коэффициент использования восстановительной способности газа равен 81%, а среднее содержание углекислоты 13,8%.

Устранение периферийного и осевого потока слабо работающих газов весьма благоприятно сказалось бы на улучшении контакта газов со столбом шихты.

Исправление профиля доменной печи расширением диаметра колошника устранило бы периферийный ход газов. Осевого потока газов при расширении колошника несколько возрос бы, но на меньшую величину, чем уменьшение



Фиг. 176. Кривые содержания углекислоты и температуры на верхнем горизонте доменной печи № 1 Магнитогорского завода (1935 г.).

периферийного потока слабо работающих газов. Устранение осевого потока может быть осуществлено улучшением распределения рудной сыпи по сечению колошника, в частности засыпью двумя концентрическими кольцами по приему, предложенному нами.

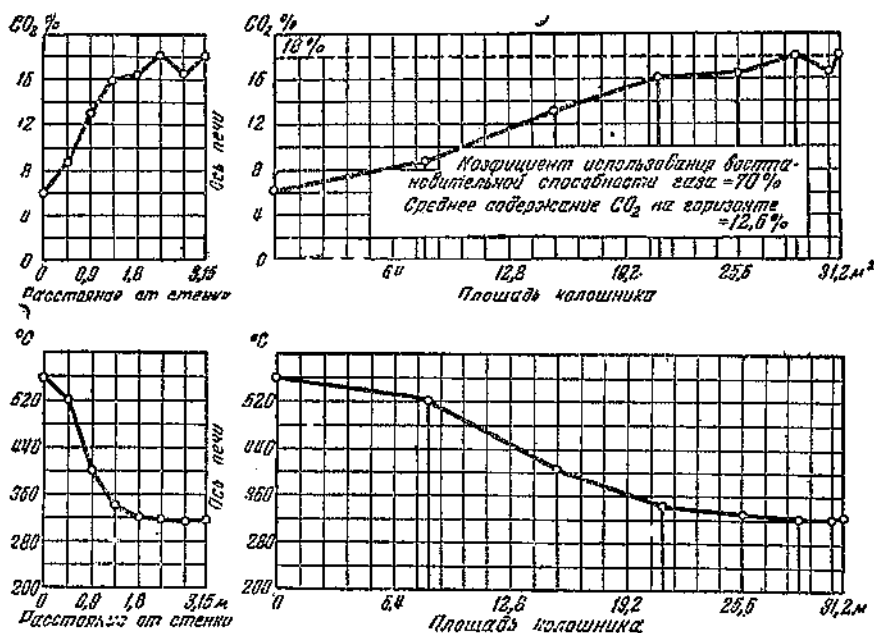
Исследования 1935 г. на верхнем горизонте, приведенные на фиг. 176, полностью подтверждают результаты 1934 г. Максимальное содержание углекислоты уменьшилось до 16,7%. Коэффициент использования восстановительной способности газа без учета влияния скорости возрос до 85%, а среднее содержание углекислоты на горизонте составило 14,2%.

Наличие несовершенного контакта газов и столба шихты на доменной печи № 1 Магнитогорского завода в 1935 г. также объясняется развитием периферийного и осевого потоков неудовлетворительно работающих газов. Периферийный поток и в 1935 г. был много больше осевого.

При рассмотрении технического проекта второй типовой доменной печи нами предлагалось расширение колошника примерно до размера горна, размер колошника был повышен, но недостаточно — с 6,1 м только до 6,3 м при горне диаметром 8,0 м и угле наклона шахты в 85°10'. Нужно было диаметр колошника при 8-метровом горне сделать 7,5—8,0 м.

В результате недоучета значения размера колошника, на второй типовой доменной печи, с резко выраженным бутылкообразным профилем был получен, даже при работе преимущественно на хорошо подготовленных к плавке кусковых рудах¹, неудовлетворительный контакт газов со столбом шихты, что и было выявлено исследованиями инж. М. Козловича [24].

Наблюдения, произведенные перед задувкой, показали, что при колоше в 10 т кокса глубина коксовой воронки последней подачи составляла 2,1 м, а рудной воронки 1,75 м. Гребень рудной сыпи располагался у стенки печи, где была и максимальная толщина рудной линзы. Полное покрытие кокса рудой имело место только на периферии кольцом шириною 1,6 м, т. е. непокрытая рудная площадь имела ширину кольца 3,1 м. Вследствие того что загружалась преимущественно кусковая руда, было отмечено попадание кусков и в центральную не покрытую рудой площадь диаметром 3,1 м, но здесь куски руды лежали попеременно с кусками кокса, т. е. поверхность кокса не была покрыта рудой.



Фиг. 177. Кривые содержания углекислоты и температуры на верхнем горизонте доменной печи № 3 Запорожстали.

Исследование отмечает равномерное распределение кокса.

Руда распределялась следующим образом: периферийное кольцо шириною 600 мм состояло из крупных кусков, дальнее кольцо шириною 400 мм из мелочи и затем кольцо шириною 600 мм из крупных кусков, а в центральной части лишь крупные куски руды на поверхности кокса, не покрывающие ее полностью.

Из распределения рудной сыпи по поверхности колошника можно сделать вывод о сосредоточении основной массы руды на периферии над фурменными очагами горна.

Содержание углекислоты и температура, наблюдавшиеся по сечению верхней части шахты на 3,25 м ниже большого конуса в опущенном положении, приведены на фиг. 177. Из этих диаграмм можно сделать заключение о наличии сильно выраженного периферийного потока избыточно нагретых и недостаточно работающих на восстановление газов. При этом коэффициент использования восстановительной способности газа по сечению очень низок даже без

¹ Подготовка руды получалась при большом выносе из печи пылеватых фракций руды — 280 кг/т чугуна.

учета повышенных скоростей на периферии и равен всего 70% при среднем содержании углекислоты по горизонту в 12,6%, при максимуме в 18%.

Высокое содержание углекислоты в центральной части печи и полное отсутствие осевого потока слабо работающих газов объясняется:

а) большим отходом рудных линз от стенки печи при сходе в горы;

б) хорошей проницаемостью рудных линз, получаемой при выдувании с периферии мелочи, что способствовало направлению газов на периферию, а не заставляло газы перераспределяться по направлению к оси;

в) сильным разрыхлением материала на периферии в виду больших размеров горна по сравнению с колошником и пологого угла шахты в 85°;

г) высокими скоростями газового потока на периферии, который при ссыпании с конуса отклонял довольно широкий диапазон (по крупности куска) мелких фракций рудной сыпи от стенок печи;

д) отбрасыванием к оси печи части руды во время ссыпания с конуса воздействием мощного периферийного газового потока с высокой скоростью.

На основании исследований можно полагать, что в центральной части печи газы шли с малой скоростью и в небольшом количестве, а поэтому расположенная здесь руда, перемешанная с коксом, при незначительном количестве газов обеспечила высокое содержание углекислоты, а следовательно, и хорошее использование восстановительной способности газов.

При бутылкообразном профиле высокое содержание углекислоты в центральной части объясняется и тем, что здесь имеет место ничтожный поток газов, к тому же оттесняемый к оси периферийным потоком, поэтому центральная часть печи работает неудовлетворительно с малой интенсивностью. Что же касается периферии, то здесь имеет место интенсивная работа газов, но с низким коэффициентом использования восстановительной способности.

Причиной неудовлетворительного контакта газов и столба шихты в доменной печи № 3 Запорожстали является бутылкообразный профиль печи.

В настоящем разделе анализа контакта газов со столбом шихты при засынке с опускающегося конуса и при бутылкообразном профиле были рассмотрены колошники доменных печей диаметром от 3,5 до 6,3 м (см. табл. 6).

Таблица 6

Сравнения данных исследований доменных печей различных заводов

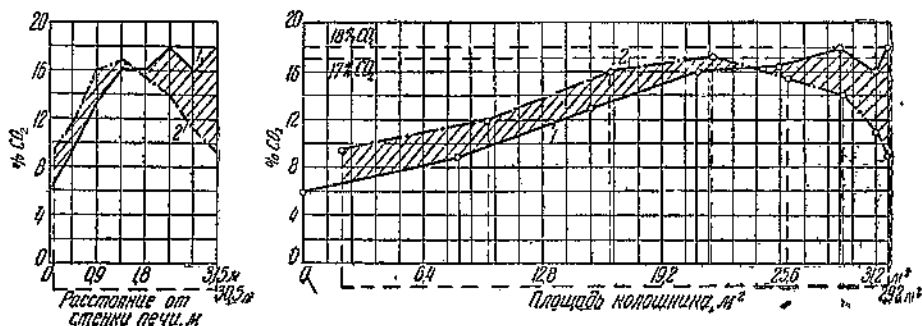
Технические данные	Печь № 3 Чусовского завода	Печь № 8 завода им. Дзержинского	Печь № 1 Магнитогорского завода	Печь № 3 Запорожстали
Диаметр горна, мм . . .	4000	7000	7620	8000
Диаметр колошника, мм .	3500	5500	6100	6300
Угол наклона стенок шахты	85°38'	85°10'	85°42'	85°10'
Полезная высота, м . . .	18,5	25,8	26,95	27,4
Коэффициент использования восстановительной способности газа на верхнем горизонте, %	89	73—82	81—85	70
Среднее содержание углекислоты на верхнем горизонте без учета скорости, %	13,6	11,3—12,8	13,8—14,2	12,6
Развитие периферийного потока слабо работающих газов	Значительное	Значительное	Большое	Очень большое
Развитие осевого потока слабо работающих газов	Небольшое	Небольшое	Значительное	Нет

С ростом диаметра горна и диаметра колошника при увеличении диспропорции между этими размерами наблюдается ухудшение восстановительной способности газа с 89% для доменной печи № 3 Чусовского завода до 70% для доменной печи № 3 завода «Запорожсталь».

В отношении использования восстановительной способности доменная печь № 3 завода «Запорожсталь», несмотря на лучшие по восстановимости руды, работает много хуже доменных печей Магнитогорского завода и таким образом ожидаемого при проектировании улучшения работы второй типовой доменной печи не было получено.

Коэффициент использования восстановительной способности газа во всех случаях взят без учета скорости, которая исследованием не была установлена, но это не влияет на выводы, так как чем больше диспропорция между размером горна и колошника, тем большая неравномерность скоростей должна наблюдаться по сечению колошника.

При нормальном профиле в исследованиях Кинни отношение коэффициента использования восстановительной способности газа с учетом влияния скорости к такому же коэффициенту без учета влияния скорости было равно $\frac{v_s}{v_{ss}} = 0,86$.



Фиг. 178. Сравнение содержания углекислоты на магнитогорской (№ 1) и запорожской (№ 3) печах: 1 — кривая запорожской печи — коэф. использования восстановительной способности газа 70%, среднее содержание углекислоты на горизонте 12,6%; 2 — кривая Магнитогорской печи — коэф. использования восстановительной способности газа 81%, среднее содержание углекислоты на горизонте 13,8%.

В условиях работы печей с бутылкообразным профилем этот коэффициент будет много ниже, вследствие более неравномерного распределения скоростей по сечению колошника по сравнению с нормальным. Можно полагать в первом приближении, что коэффициент использования восстановительной способности с учетом скорости при печах бутылкообразного профиля не будет выше 0,75, а тогда действительный коэффициент использования восстановительной способности будет примерно равен:

для доменной печи № 3 Чусовского завода	67%
для доменной печи № 8 Дзержинского завода	55—61%
для доменной печи № 1 Магнитогорского завода	61—64%
для доменной печи № 3 Запорожстали	53%.

Из современных мощных доменных печей наилучше работающими в СССР оказываются доменные печи Магнитогорского завода, а вторая типовая печь работает по экономическим результатам хуже Магнитогорской печи и первой типовой, что объясняется исключительно увеличением диспропорции между размером горна и колошника. Указанное подтверждается фиг. 178, где приведено сравнение использования восстановительной способности газа Магнитогорской и Запорожской печей.

Таким образом профиль второй типовой доменной печи выбран неудачно, результатом чего явилось ухудшение работы печи.

Улучшение профиля печи заключается в расширении колошников, примерно до размеров горна, что обеспечит хорошую работу существующих мощных доменных печей.

Сторонники бутылкообразных профилей современных доменных печей должны пересмотреть свои взгляды, так как нет оснований бояться увеличения размеров колошника до размеров, примерно равных диаметру горна.

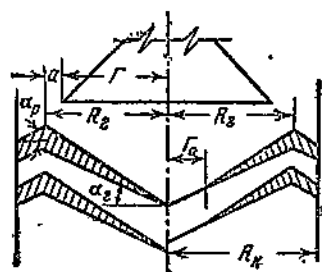
Если приведенный анализ контакта газов со столбом шихты при бутылкообразном профиле поможет доменщикам разобраться в этом важном вопросе и пойти в развитие профиля современных доменных печей по пути расширения колошников, о чем сообщалось в отдельных статьях [25], автор получит полное удовлетворение.

В нашей стране, главным образом, по вине бутылкообразного профиля ежегодно перерасходуется около 3 миллионов тонн горючего и до десятка доменных печей преждевременно выходит из строя. Крупные потери причиняются при этом недоувалкой чугуна вследствие упомянутого пережога горючего и преждевременного выхода печей в капитальный ремонт, а поэтому совершенно необходимо на всех доменных печах, имеющих бутылкообразный профиль, расширить колошники до размеров примерно равных диаметру горна и этим сделать профили печей нормальными.

Увеличение осевого потока недостаточно работающих газов при расширении колошников не составит препятствий, так как имеются засыпные аппараты, позволяющие хорошо распределить рудную сыпь по всему сечению колошника.

4. Контакт газов со столбом шихты при засыпи с отходом гребня рудной линзы от стенки печи

Распределение рудной сыпи по поверхности колошника при засыпи с опускающегося конуса с отходом гребня от стенки печи изображено на фиг. 179.



Фиг. 179. Распределение материалов на колошнике аппаратом Парри с отходом гребня от стенки печи.

Такое распределение рудной сыпи при старых профилях с широким колошником и размером горна не более 3 м, встречалось ранее и было вызвано необходимостью улучшения движения газов периферией и предупреждением образования настывов на стенках печи.

При профилях доменных печей нормального типа или бутылкообразных совершенно недопустима засыпь с гребнем, расположенным на известном расстоянии от стенки печи, так как это вызывает весьма нежелательное увеличение периферийного хода недостаточно работающих на восстановление и избыточно горячих газов.

Чем больше разница между радиусом колошника R_k и расстоянием R_g гребня от оси печи, тем большее развитие периферийного потока газов будет иметь место.

Исследование распределения температур, проведенное Довелом, при засыпи с отходом гребня рудной сыпи от стенки печи, изображенное на фиг. 158, выявило резко выраженный периферийный ход избыточно нагретых газов.

На периферии были обнаружены температуры порядка 500—760° С, в то время как в хорошо заполненном рудной сыпью кольце — 360—440° С.

Засыпь с отходом гребня рудной линзы от стенки печи будет иметь место в трех случаях:

- а) при слишком малом диаметре конуса по сравнению с диаметром колошника;
- б) при нормальном размере конуса, но перегруженной доменной печи;
- в) при нормальном размере конуса и большой недогрузке доменной печи.

Следовательно для получения хорошей работы доменной печи в любых эксплуатационных условиях недопустима работа с недогрузом или перегрузом печи. Получение оптимального распределения материалов связано с работой печи при нормальном точно установленном уровне засыпи.

Весьма малый диаметр конуса недопустим также в доменной практике, как вызывающий периферийный ход слабо работающих газов.

Создание периферийного потока избыточно нагретых газов распределением материалов с отходом гребня рудных линз от стенки печи может принести пользу лишь при удалении настывов со стенок доменной печи, поэтому в данном случае можно рекомендовать как временную меру применение такого приема засыпи.

5. Определение размеров большого конуса

Практика работы сотен доменных печей на протяжении многих десятков лет выявила наиболее целесообразные размеры конуса, обеспечивающие хорошее распределение материалов. Наиболее характерным оказался не относительный размер большого конуса и колошника, а зазор между конусом и стенкой печи.

Величина этого зазора зависит от ряда факторов. Прежде всего размер зазора зависит от абсолютного размера колошника. Чем шире колошник, тем зазор может быть допущен больший.

Большое влияние на выбор величины зазора имеет характер руды в отношении гранулометрического состава и угла естественного откоса. Руды кусковые допускают больший зазор по сравнению с мелкими или порошковатыми.

Чем больше угол естественного откоса руды отличается от угла естественного откоса горючего, тем раньше выклинивается рудная линза и тем больше должен быть размер конуса, но при обязательном условии недопущения получения отхода гребня от стенки печи.

На основании изучения доменных печей СССР, США и Европы автор находит возможным рекомендовать нижеследующие величины зазора в зависимости от размера колошника и характера проплавляемых руд, приведенные в табл. 7.

Таблица 7

Величины зазора в зависимости от размера колошника
и характера проплавляемых руд

Характер проплавляемых руд	Величина зазора между конусом и стенкой колошника, мм		
	при диа- метре ко- лошника до 3 м	при диа- метре ко- лошника от 3 до 5 м	при диа- метре ко- лошника от 5 до 7 м
Окатанный агломерат из вращающих- ся печей	800	900	1000
Обычный агломерат высокой механи- ческой прочности	700	800	950
Кусковые плотные руды типа маг- нитных железняков	700	800	950
Кусковые обычные руды	650	750	850
Агломерат средних механических ка- честв	600	700	800
Мелкокусковые руды	550	600	700
Порошковатые руды	450	500	600
Смесь агломерата и кусковых руд с отсеянной мелочью ниже 3—5 мм	700	800	900
Смесь кусковых и порошковатых руд	550	650	750

При рекомендуемых размерах нетрудно получить при умеренной глубине уровня засыпи гребень рудной сыпи, расположенный у стенки печи, что обеспечивает хорошее распределение материалов при ссыпании с опускающегося конуса.

6. Определение нормального уровня глубины засыпи

Как уже было показано выше, в зависимости от глубины засыпи при одних и тех же размерах конуса, может быть получен гребень рудных линз у стенки печи или на некотором от нее расстоянии.

Наилучшее из возможных в данных условиях распределение материалов, когда гребень рудных линз находится у стенки печи, может быть получено только при нормальном уровне глубины засыпи.

Удобнее всего нормальный уровень глубины засыпи определить при загрузке доменной печи перед ее задувкой.

Чем глубже уровень засыпи, тем отход гребня рудной сыпи больше. При уменьшении глубины засыпи, при загрузке перед задувкой, наблюдается приближение гребня к стенке печи. Глубина засыпи, при которой впервые получится гребень у стенки, должна быть отмечена.

При дальнейшем уменьшении глубины засыпи гребень начинает снова отходить от стенки.

Те глубины уровня засыпи, при которых не получается отхода гребня от стенки, являются нормальными и на них необходимо стремиться работать.

Без получения отхода гребня рудной сыпи варьировать глубиной засыпи можно лишь в строго ограниченных пределах, желательно порядка 1 м. Таким образом глубина засыпи может меняться в пределах $\pm 0,5$ м от нормальной.

Для большинства современных доменных печей нормальный уровень засыпи располагается в зависимости от размеров конуса и величины колоши на глубине от 1,5 до 2,5 м от нижнего положения большого конуса, причем он должен устанавливаться на каждой доменной печи, и его соблюдение совершенно обязательно для получения возможно хорошего в данных условиях распределения материалов по сечению колошника.

При достижении нормальной глубины засыпи при работе печи следует загружать руду тем приемом, который принят по требованиям ведения печи.

Для обеспечения соблюдения нормального уровня засыпи работу по загрузке печи следует организовать так, чтобы очередная рудная подача всегда была на конусе и ожидала засыпки при получении на печи нормального уровня глубины засыпи.

7. О выборе величины колоши

При засыпи приемом Парри с опускающегося конуса величина колоши зависит: от профиля печи и его размеров; от абсолютного размера колошника; от характера проплавляемых материалов.

Определить оптимальный размер колоши расчетным путем не представляется возможным.

При нормальном профиле доменной печи, принципиально, большая колоша будет выгоднее малой. Предел увеличения колоши при нормальном профиле определяется проницаемостью рудных линз. Чем лучше проницаемость рудной линзы, тем большая колоша может быть допущена при нормальном профиле.

При бутылкообразном профиле часто малая колоша будет выгоднее большой, вообще же размер колоши будет зависеть от развития периферийного и осевого потоков и оптимального их соотношения, определяющего возможно лучшие экономические результаты доменной плавки. При сильно развитом периферийном потоке слабо работающих газов уменьшение колоши будет сказываться на уменьшении периферийного потока при некотором росте осевого.

Если исследование устанавливает, что уменьшение величины колоши снижает периферийный поток слабо работающих газов на величину большую, чем повышение осевого потока, то такое уменьшение колоши будет целесообразным.

Пользование предлагаемыми нами площадными координатами при нанесении результатов исследований содержания углекислоты, температуры и скоростей по сечению колошника дает возможность провести правильный анализ и выявить относительное значение на работу, печи развития периферийного и осевого потоков слабо работающих на восстановление избыточно нагретых газов.

Ниже, на примере исследования Фельдмана и Стокера [26] покажем использование площадных диаграмм для решения вопроса выгоды того или другого размера колоши. На фиг. 180 приведено сравнение содержания углекислоты на верхнем горизонте доменной печи № 4 завода Бохумер Ферейн. На диаграмме кривая 1 относится к одинарной подаче по весу, а кривая 2 к двойной подаче по весу.

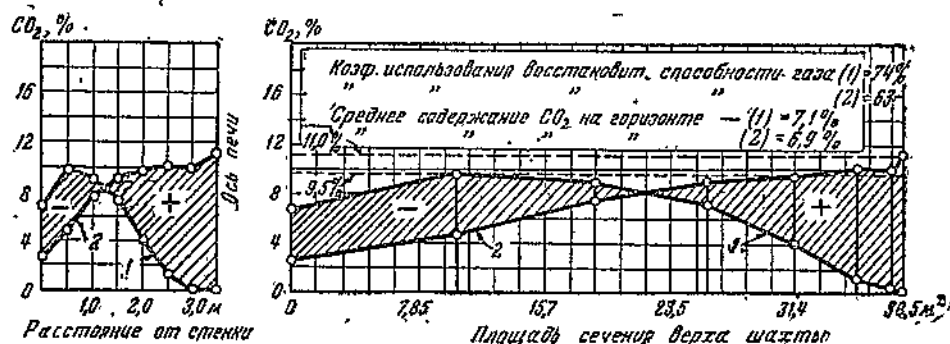
Шихта доменной печи состояла из 60% агломератов, 20% кусковатых руд, 10% обожженных руд, 6% мартеновских шлаков и 4% мелких руд.

Одинарная колоша была 8,4 т руды и двойная 16,8 т.

Рассматривая диаграмму, видим, что кривая 2, соответствующая двойной колоше, лежит ниже кривой 1 на периферии и выше этой кривой в центральной части печи.

Площадь со знаком плюс представляет собой улучшение использования восстановительной способности газа, а площадь со знаком минус — ухудшение этого использования при переходе на большую колошу. В площадных координатах площадь со знаком минус больше, чем площадь со знаком плюс, а поэтому можно сделать верное заключение, что переход на двойную колошу сопровождается ухудшением работы доменной печи с повышением расхода горючего, что и имело место в практических условиях.

Фельдман и Стокер, не подвергнув анализу в площадных координатах содержание углекислоты по сечению шахты, пришли в недоумение. Рассматри-



Фиг. 180. Содержание углекислоты по сечению шахты доменной печи № 4 «Бохумер Ферейн» (кривая 1—8,4-т колоша; кривая 2—16,8-т колоша).

вая кривые 1 и 2 в линейных координатах без учета площади, они в отношении кривой 2, соответствующей двойной подаче, делают следующее замечание: «... Эту кривую 2 можно рассматривать как образцовую, а газопроницаемость как наиболее равномерную», а дальше недоумевают: «... И все же действие этого вида подачи (двойной) было настолько неблагоприятно, что увеличился расход кокса».

На этом примере рельефно выявляется удобство и правильность выводов при пользовании предложенным нами методом площадных координат.

Без учета скорости газа коэффициент использования восстановительной способности газа при одинарной подаче получился равным 74%, а среднее содержание углекислоты на исследуемом горизонте 7,1%, тогда как при переходе на двойную подачу коэффициент использования восстановительной способности снизился до 63%, а среднее содержание углекислоты до 6,9%.

Уменьшение коэффициента использования восстановительной способности на 11% и объясняет перерасход горючего при переходе на двойную колошу.

Разница в содержании углекислоты получилась небольшая, потому, что не были измерены и учтены скорости газов. При большой подаче скорости газы на периферии возросли и периферийный поток газов со сниженным содержанием углекислоты оказал много большее влияние на ухудшение использования восстановительной способности, чем это учтено на диаграмме.

Однако, как видно из результатов, метод площадных координат позволяет дать правильную оценку экономичности доменной плавки даже без учета скорости.

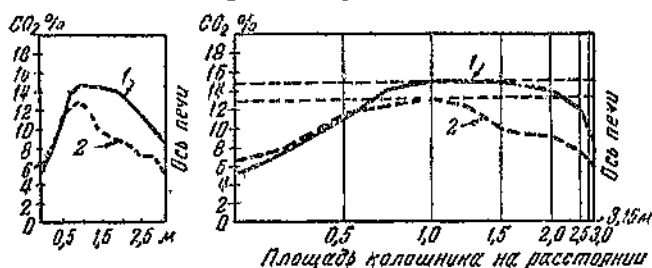
В конечном результате можно сделать заключение, что правильный выбор размера колоши может быть сделан на основании исследования температуры и состава газа в отношении содержания углекислоты, а желательно и скорости по сечению колошника.

В принципиальной постановке нормальный тип профиля доменной печи потребует большей колоши, а бутылкообразный—меньшей колоши. Чем больше разница между диаметром горна и колошника печи, тем колоша с учетом размера печи может быть меньше.

На фиг. 181 приведен, по данным исследования акад. М. А. Павлова с сотрудниками, состав газа в отношении содержания углекислоты на доменной печи № 3 завода «Запорожсталь», имеющей бутылкообразный профиль.

Исследование было проведено для двух размеров колоши 7,5 (кривая 2) и 10 т (кривая 1).

Как видно из кривых содержания углекислоты в координатах, учитывающих значение площади колошника, при 10-тонной колоше работа оказалась более выгодной, чем при 7,5-тонной.



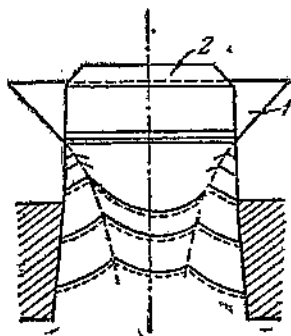
Фиг. 181. Содержание углекислоты по сечению шахты доменной печи № 3 завода «Запорожсталь»: колоша 10 т, средняя кривая за 1—12 ноября 1940 г., коэффициент восстановительной способности газа—80%, среднее содержание CO₂ на горизонте $15 \times 0,8 = 12\%$; колоша 7,5 т, средняя кривая за январь 1941 г., коэффициент использования восстановительной способности газа 78%, а среднее содержание CO₂ на горизонте $— 13 \times 0,78 = 10,14\%$.

Увеличение колоши снизило осевой поток неудовлетворительно работающих газов за счет сравнительно небольшого роста периферийного потока.

Возможно, что если учесть скорости, то повышение экономичности доменной плавки, выявленное диаграммой фиг. 181, при переходе на 10-тонную колошу оказалось бы несколько иным.

§ 4. Распределение материалов и контакт газов со столбом шихты при засыпи с неподвижной воронки (прием Лангена)

На фиг. 182 представлена схема распределения материалов, предложенная Лангеном в 60-х годах прошлого столетия. Здесь скатывание материала происходит с неподвижной конической воронки при поднимании колокола вверх.



Фиг. 182. Засыпь с неподвижной воронки (прием Лангена): 1 — чаша; 2 — колокол.

Ссыпание с конической воронки не разрыхляет материала, как это мы видели при ссыпании с конуса, а уплотняет его, потому что образующие поверхности воронки по направлению вниз сходятся и этим способствуют перемешиванию и уплотнению материалов. Уплотнение материалов при загрузке является крупным недостатком приема засыпи, предложенного Лангеном. Кроме того, при засыпи с воронки получается откос по направлению к стенкам печи и отход гребня рудной сыпи. Чем глубже уровень засыпи, тем отход рудной линзы больше.

При наличии боковых газоотводов уровень засыпи приходится держать достаточно низко для предоставления возможности прохода газов, а поэтому откос по направлению к стенке и отход гребня получается особенно большим. Для уменьшения отхода гребня применяют центральный газоотвод, который позволяет держать уровень засыпи у борта воронки и этим обеспечивать минимальный отход гребня рудных линз от стенки печи. Сегрегация рудной сыпи получается следующая: к стенке ложится кусковая руда, затем кольцо мелочи и в центральной части печи также кусковой материал.

Сечение рудной линзы с отходом гребня от стенки и наличием откосов по направлению к стенке и к оси печи, а также упомянутый характер сегрегаций материалов по сечению колошника способствуют сильному развитию периферийного хода газов, что влечет к неудовлетворительному использованию на периферии их физического тепла и восстановительной способности.

Распределение приемом Лангена давало хорошие результаты только при старых профилях с диаметром колошника более широким, чем диаметр горна, так как в этом случае разрыхление материалов на периферии улучшало работу печи, потому что газы при широком колошнике и узком горне имели тенденцию идти осевым потоком.

На современных доменных печах с нормальным или бутылкообразным профилем при засыпи по приему Лангена получается резко выраженный периферийный ход газов.

Крупные недостатки в распределении материалов при приеме засыпи Лангена не дали ему широкого распространения.

Прием Лангена используется в засыпных аппаратах с загрузкой двумя концентрическими кольцами для подачи руды как на периферию, так и во внутреннее кольцо (аппараты Толандера, Шарлевиля и др.).

§ 5. Распределение материалов с нескольких последовательно опускающихся концентрических конусов (прием, предложенный автором)

Выше было показано, что существующие приемы распределения материалов Парри, а также Лангена при широких колошниках современных доменных печей не удовлетворяют требованиям оптимальной засыпи.

Прием Парри несовершенно распределяет материал по сечению колошника, сосредоточивая рудную сыпь в основном у стенок шахты, и привел в развитии профиля доменных печей к бутылкообразным типам.

При многих условиях доменной плавки и на печах разных размеров и профиля, прием засыпи Парри приводит к неудовлетворительному использованию физического тепла и восстановительной способности газов, что увеличивает расход горючего и снижает производительность доменной печи. Прием засыпи Парри также препятствует совершенно необходимому для современных доменных печей расширению колошников.

За последние 80 лет имел место ряд предложений по улучшению приема засыпи Парри применением загрузки двумя концентрическими кольцами с подачей руды на периферию приемом Парри, а во внутреннее кольцо — сыпанием с воронки приемом Лангена (аппараты Куэна, Шарлевиля, ю-уральского типа, Поносова и др.).

Прием засыпи, предлагаемый нами — сыпание рудной сыпи в печь концентрическими кольцами с опускающихся конусов [27], — позволяет обеспечить распределение материалов на колошнике любого диаметра.

Конструктивное оформление этого приема засыпи может предусмотреть регулирование количества руды, поступающего в отдельные кольца, и этим обеспечить необходимое облегчение рудной сыпи в радиальном направлении, которое требуется работой горна доменной печи.

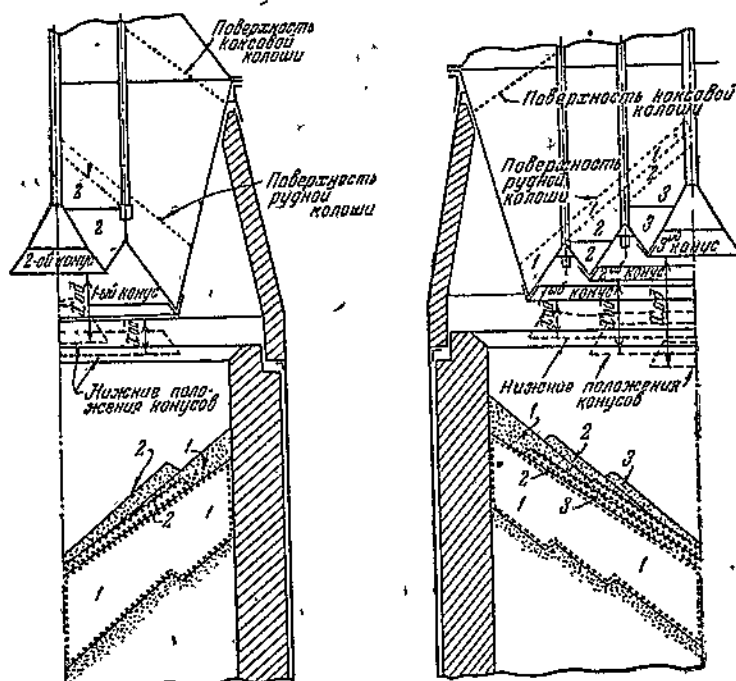
На фиг. 183 представлена засыпь двумя и тремя концентрическими кольцами с опускающихся конусов.

Материал, засыпанный на конусы, распределяется по углу естественного откоса. Угол подъема конусов аппарата и величина их выступа кверху определяют количество материалов, сыпавшихся в доменную печь с того или другого конуса, а таким образом в каждое концентрическое кольцо имеется возможность давать столько руды, сколько является необходимым для получения наилучшего распределения рудной сыпи по сечению колошника.

При этом имеется полная возможность у стенки печи получить максимальную толщину рудной линзы, а по направлению к оси печи постепенное уменьшение количества руды, все же обеспечивающего полное покрытие рудой всей поверхности коксовой колоши.

Описанный прием засыпи применяется на древесноугольных печах. Результаты проведенного исследования, изложенные ниже, дают основание утверждать правильность приема засыпи несколькими концентрическими кольцами.

Применение этого приема для коксовых доменных печей позволит расширить колошник до нужных размеров при обеспечении оптимального распределения материалов, что снизит расход горючего и увеличит производительность печи благодаря улучшению контакта газов со столбом шихты, а также увеличит кампанию доменной печи, вследствие меньшего износа шахты при устранении



Фиг. 183. Засыпь двумя (слева) и тремя (справа) концентрическими кольцами с опускающихся конусов.

периферийного хода избыточно горячих и неработающих на восстановление газов.

Заметно скажется расширение колошника на уменьшении выплывания руд, благодаря уменьшению скоростей газов при оставлении ими столба шихты.

Имея в виду, что прием засыпи концентрическими кольцами с опускающихся конусов является новым, автор считает необходимым привести ниже более детальное его обоснование.

Новизна приема засыпи автора по сравнению с аппаратом Кузнецова и Шарлевиля заключается в сыпани руды в центральную часть печи с опускающегося конуса, тогда как в упомянутых аппаратах сыпь ложится во внутреннее кольцо при сыпании с воронки кучей к оси печи.

Отличие приема засыпи автора от приемов при аппаратах системы Поносова и южно-уральского типа состоит в том, что засыпь во внутреннее кольцо поступает, так же как и в периферийное, с опускающегося конуса, в то время как при аппаратах системы Поносова и южно-уральского типа сыпь во внутреннее кольцо поступает с неподвижного конуса — разбрасыванием.

В первую очередь следует применять в практических условиях прием засыпи автора двумя концентрическими кольцами. Возможно, что практика выявит желательность увеличения количества концентрических колец рудной сыпи. Автор полагает, что два концентрических кольца обеспечат хорошее распределение материалов на колошниках до 8 м диаметром.

ГЛАВА II

ОБЗОР И КРИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ ЗАСЫПНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ДРЕВЕСНОУГОЛЬНЫХ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

§ 6. Общие соображения

На Урале имеется до двух десятков доменных печей, полезным объемом каждая не выше 200 м³, работающих по преимуществу на древесном угле и снабженных полумеханизированной загрузкой с наличием рабочих на колошнике:

Значительная часть доменных печей оборудована несовершенными засыпными аппаратами, следствием чего является: высокий расход древесного угля свыше 7 м³ на тонну передельного чугуна (1939 г.), условия труда не всегда отвечающие современным требованиям в отношении техники безопасности.

На основе проведенных исследований, можно считать, что только одной рационализацией конструкций засыпных аппаратов, требующей незначительных капиталовложений, а поэтому легко реализуемой, в существующих условиях можно снизить расход горючего в среднем по Уралу до 5,0—5,5 м³ на тонну чугуна и увеличить производительность доменных печей примерно на 20%.

Улучшение подготовки железных руд к доменной плавке путем дробления, классификации по крупности, обжига бурых и магнитных железняков, а также брикетирование и агломерация пылеватых руд требует хотя и значительных капиталовложений, но дающих большой экономический эффект — может обеспечить дальнейшее снижение расхода горючего не менее чем на 15—20% с таким же ростом производительности доменных печей.

Практика работы шведских заводов выявляет, что минимальному расходу горючего всегда соответствует не только максимальная производительность печей, но и наилучшее качество чугуна. Это объясняется (проф. докт. И. А. Соколовым) тем, что при минимальном расходе древесного угля получается максимальное развитие процессов непрямого восстановления и минимальное количество закиси железа попадает в чугун.

Следует добавить, что лучшее разделение чугуна и шлака в древесноугольных печах обуславливает также минимальное количество шлаковой муты в чугуне и ее большую дисперсность, по сравнению со случаями доменной плавки с развитыми процессами прямого восстановления.

В настоящее время можно считать общепризнанным, что чем тоньше шлаковая муть и чем меньше склонность ее к коагуляции при понижении температуры, тем больше центров кристаллизации образуется в единице объема чугуна и тем мельче будет кристаллизация металла. Повидимому наиболее устойчива тонкая шлаковая муть, кислая по своему характеру, поэтому чугуны, выплавленные на кислых шлаках с меньшим расходом горючего, отличаются сохранением свойства мелкой кристаллизации и после передела их в сталь вследствие того, что эта шлаковая муть остается в стали.

Меньшее количество шлаковой муты и ее высокая дисперсность будут получаться в том случае, когда процесс плавления чугуна проходит раньше процесса шлакообразования, при этом чугун, как более тяжелая жидкость, быстро стечет в горн с минимальным количеством весьма тонкой шлаковой муты, что обусловит его лучшие качества.

Так как распределение материалов сильно сказывается на развитии процессов непрямого восстановления и распределения зоны высоких температур по сечению печи, то несомненно, что хорошее распределение материалов значительно улучшит и качество чугуна.

§ 7. Основные требования, предъявляемые к засыпным аппаратам для древесно-угольных доменных печей

Первым требованием, которому должна удовлетворять конструкция засыпного аппарата, является правильное распределение руды и флюсов по сечению колошника в соответствии с распределением потока газов по поперечному сечению печи.

Подымающимся от фурменных очагов газам должно оказываться шихтой приблизительно равномерное сопротивление, так как только при этом будет обеспечено равномерное распределение газов по сечению печи.

Рудная сыпь в древесноугольной доменной печи при своем ходе по направлению к фурменным очагам горна опускается вертикально вследствие ее большого удельного веса.

Правильное распределение материалов в соответствии с газовым потоком обеспечивает наиболее полное использование восстановительной способности и физического тепла колошниковых газов, что определяет собой минимальный расход горючего, получение максимальной производительности, равномерности хода печи и наилучшего качества чугуна.

Равномерность хода обеспечивает отсутствие осадок, сохраняет гарнисаж в шахте, заплечиках и горне, что способствует лучшей сохранности печи, а следовательно делает работу на ней более безопасной и длительной по времени кампании.

Распределение материалов весьма желательно иметь с возможностью регулирования засыпи на периферию печи и в ее центральную часть, что позволит бороться с неполадками в работе печи (настыли, износ огнеупорной кладки и т. д.), а главное, при правильном распределении рудной сыпи, обеспечить максимальную величину ее на колошу горючего.

Важное значение в отношении обеспечения наилучших экономических результатов работы печи имеет проницаемость шихты, поэтому, при загрузке руды в печь желательно получить правильное распределение мелочи и крупных кусков по сечению колошника. В случае, если на рудном складе возможна классификация, то необходимо обеспечить раздельную разгрузку колош по размеру кусков.

Наилучшие результаты будут получаться в том случае, если при наличии кусковых руд и мелочи последняя будет поступать на периферию, а кусковая руда в центральную часть печи.

Правильность распределения материалов имеет немалое значение для размера выноса пыли, так как обеспечивает равномерное распределение по сечению колошника газов с наличием приблизительно одинаковых скоростей, а минимальные скорости при этом обуславливают и минимальный вынос пыли.

Некоторые современные доменные печи имеют развитую периферическую трубу горячих газов вследствие бутылкообразного характера профиля и большую центральную трубу горячих газов из-за неудовлетворительности распределения материалов по широкому колошнику аппаратом Парри. Из упомянутых периферической и центральной трубы горячие газы выходят с громадными скоростями, достигающими по данным американского исследователя Кинни до 150 м/сек, а в некоторых печах возможно еще выше.

Надо полагать, что эти высокие скорости газовых потоков затухают только в газоотводах и являются основной причиной выплывания при ссыпании материалов с нижнего затвора аппарата, во время которого и получается преимущественно вынос мелочи.

По данным Днепропетровского института металлов до 80% выноса пыли получается во время ссыпания материалов в печь, отсюда рельефно выявляется значение для размера этого выноса неравномерного распределения скоростей по сечению колошника.

Над уровнем засыпи на колошнике при неудовлетворительном распределении рудной сыпи господствуют вихреобразные потоки газов с отдельными достаточно мощными струями, имеющими очень большие скорости, обуславливающие наличие, образно выражаясь, «самума» под засыпным аппаратом.

Падение рудной сыпи в газовый поток, идущий с высокими скоростями, не изучено, но есть основание полагать, что это обстоятельство имеет серьезное влияние на распределение материалов, что необходимо учитывать при устройстве и работе засыпного аппарата.

Вторым требованием к рациональной конструкции засыпного аппарата при полумеханизированной загрузке с наличием рабочих на колошнике доменной печи должно быть поставлено полное соблюдение требований техники безопасности. Совершенно необходимо обеспечить полную безопасность работы по загрузке аппарата, исключив всякую возможность выброса в это время пламени или газа в зону рабочего места и обеспечив полную герметичность аппарата, как при нормальной работе печи, так и в случае осадок, при наибольшей гарантии от возможности хлопков и взрывов гремучей смеси.

Указанное требование сохраняет свою актуальность и при механизированной засыпи с отсутствием на колошнике печи рабочих, так как оно обеспечивает безопасное обслуживание механизмов колошника (смазка, ремонт, проверка) без остановки доменной печи, а также сохранность оборудования на колошнике.

Третье требование относится к получению правильного распределения материалов по сечению колошника вне зависимости от качества обслуживания и степени внимательности надзора.

Четвертым требованием следует поставить обеспечение конструкции аппарата минимальных потерь газа, являющегося весьма ценным топливом. Выпуск последнего в атмосферу отравляет ее окисью углерода и при полумеханизированной загрузке с наличием рабочих на колошнике печи угрожает их здоровью.

Пятое требование сводится к получению при загрузке древесного угля в доменную печь минимального измусоривания.

Шестым требованием является прочность аппарата, обеспечивающая его службу на протяжении кампании печи и надлежащие сопротивления при взрывах гремучей смеси на колошнике.

Седьмое требование — простота конструкции аппарата, удобство обслуживания и доступность ремонта.

Наконец восьмое требование заключается в том, чтобы на установку аппарата затрачивался минимум высоты печи.

Засыпной аппарат рациональной конструкции должен удовлетворять в максимальной мере изложенным выше требованиям.

§ 8. Ручная засыпь

Ручная засыпь при достаточно внимательном отношении со стороны обслуживающего персонала может быть выполнена в полном соответствии с распределением газов в доменной печи. Этим ручная засыпь обеспечивает правильность распределения материалов, что создает благоприятные условия в отношении использования восстановительной способности и физического тепла газов и способствует получению на доменной печи минимального расхода горючего.

В настоящее время в Советском Союзе сохранилась только одна доменная печь на Среднем Урале, имеющая ручную засыпь. Эта печь имеет эллиптический профиль и ее объем равен 165 м³. Доменная печь оборудована десятью фурмами с Ø 120 мм в свету.

Загрузка материалов в доменную печь производится вручную. Руда подается на вагонетках, в корытах, из которых загружается рабочими на поверхность угольной колоши. Загрузка руды производится с таким расчетом, чтобы язычки пламени от горящего газа были равномерными по всей поверхности колошника. Центральный газоотвод отводит газы с горизонта на 3,2 м ниже нормального уровня засыпи в доменной печи.

Древесный уголь подается на колошник печи в коробках емкостью 1,3 м³, которые опрокидываются вручную с вагонеток. Для уменьшения потери газа в период между загрузками колош, открытый колошник доменной печи закрывается крышкой.

Нагрев дутья в доменном цехе завода производится в рекуператорах с чугунными трубами, которые обеспечивают температуру воздуха не выше, чем 350°.

В 1939 г. расход горючего на тонну хромоникелевого чугуна составлял 7,52 м³, или 0,96 т/т или 675 кг нелетучего углерода. Эти результаты следует считать недостаточно хорошими.

По данным проф. И. А. Соколова [29] при работе доменной печи завода на шихте из гороблагодатских и высокогорских полумартитов (51,8%) и агломератов этих руд (48,2%) был получен расход нелетучего углерода в 680 кг на тонну чугуна при расходе руды 1,62 т/т.

Работа доменной печи завода на 100% обожженных, богатых бакальских бурых железняков за небольшой промежуток времени характеризовалась расходом 515 кг нелетучего углерода на 1 тонну чугуна. Из изложенного видно, что результаты по расходу горючего при применении засыпных аппаратов могут быть значительно улучшены.

§ 9. Засыпь аппаратом Парри¹

Засыпной аппарат Парри является наиболее простым решением вопроса закрытия колошника воронкой с подведенным под нее конусом, подвешенным на балансирах. Безопасность работы при загрузке обеспечивается благодаря герметичности аппарата. При наличии крышки с водяным или песочным затвором для закрывания аппарата на момент опускания конуса исключается выброс газа на колошниковую площадку.

Однако, главное технологическое требование — правильное распределение материалов по сечению колошника, аппарат для древесноугольных доменных печей не выполняет, начиная с диаметра колошника примерно 2,5 м и выше.

Рудная сыпь поступает с конуса преимущественно к стенкам печи, неудовлетворительно заполняя площадь колошника, являющуюся проекцией конуса.

Вследствие этого доменные печи с засыпным аппаратом Парри имеют при нормальном профиле по оси печи ясно выраженную трубу, неудовлетворительно заполненную рудной сыпью, по которой горновые газы устремляются в большом количестве, вследствие малого сопротивления, а их физическое тепло и восстановительная способность используются неудовлетворительно, что увеличивает расход горючего и уменьшает производительность печи.

Даже для коксовой доменной печи, где благодаря более ровной поверхности горючего распределение рудной сыпи по направлению к оси печи обеспечено значительно лучше, чем для древесноугольной доменной печи, сильно развитый поток горячих и неработающих на восстановление газов наблюдается уже при диаметре колошника 3,5 м, что подтверждается исследованиями доменной печи № 3 Чусовского завода, приведенными выше.

На Белорецком заводе при засыпи аппаратом Парри и применении довольно совершенных вращающихся распределителей Мак-Ки, имеет место повышенный расход древесного угля.

¹ Конструкции засыпных аппаратов Парри рассматриваются в гл. «Засыпные аппараты для коксовых доменных печей» (ч. V) ввиду одинакового устройства их как для древесноугольных, так и для коксовых печей.

При работе на передельные чугуны расход древесного угля составляет на Белорецком заводе от 0,85 до 1,0 *т* при расходе руды (бурых железняков) в 1,8—2,0 *т* и металлодобавках 120—60 *кг* на тонну чугуна.

При отсутствии металлодобавок в условиях Белорецкого завода расход древесного угля составил бы на тонну чугуна приблизительно 7,0 *м³*, или 1,05 *т*.

По данным проф. И. А. Соколова [29] ясно выраженный центральный поток горячих и неработающих на восстановление газов при работе на древесном угле наблюдался на доменной печи № 2 Златоустовского завода при диаметре колошника 3130 *мм* и на доменной печи Верхне-Синячихинского завода при диаметре колошника в 3000 *мм*, что указывает на пониженные экономические результаты доменной плавки в отношении расхода горючего на доменных печах, оборудованных засыпными аппаратами Парри.

Практика многих уральских заводов — Ашинского, Саткинского, Пашинского, Серовского — показывает, что при диаметре колошника 3—3,6 *м* при работе на аппаратах с засыпью в центр и на периферию дополнительно к периферической сыпи можно дать в центральную часть печи без увеличения расхода горючего руды в количестве от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$ веса периферической сыпи.

Отсюда видно, что засыпной аппарат Парри совершенно непригоден для древесноугольных доменных печей из-за перерасхода горючего, несмотря на то, что всем другим требованиям он удовлетворяет достаточно хорошо.

Условия на колошнике доменной печи с полумеханизированной загрузкой при двойной воронке Парри значительно улучшаются по сравнению с одинарной воронкой Парри. Для предупреждения взрывов гремучей смеси в междуконусное пространство необходимо делать подвод пара. А для противодействия выходу газа при открывании верхнего малого конуса необходимо обеспечить из междуконусного пространства принудительный отсос газа вентилятором в свечу. Такой способ отсоса газа применен с успехом при двойной воронке Парри на Н.-Тагильском заводе.

Однако распространению двойной воронки Парри на древесноугольных доменных печах препятствует перерасход горючего на 20—30% по сравнению с засыпными аппаратами, работающими с двойной засыпью на периферию печи и в ее центральную часть.

Только из-за перерасхода горючего двойную воронку Парри нельзя считать применимой для древесноугольных доменных печей, хотя всем остальным требованиям к рациональной конструкции этот аппарат удовлетворяет.

На доменной печи № 1 Чусовского завода, оборудованной двойной воронкой Парри, при работе на передельный ванадиевый чугун на шихте из агломерата и частично сырых титано-магнетитов держался расход древесного угля в среднем за 1938 год 8,77 *м³*, или 1,14 *т*, или 798 *кг* нелетучего углерода, а в 1939 году — 9,84 *м³*, или 1,28 *т*, или 897 *кг* нелетучего углерода на тонну чугуна. Так как восстановление ванадия не требует большого расхода тепла, то при наличии большого процента агломерата в шихте громадный пережог горючего объясняется крайне неудовлетворительным распределением при засыпном аппарате Парри.

На доменной печи, оборудованной аппаратом Парри, В.-Синячихинского завода, где в шихту шло значительное количество металлодобавок (60—120 *кг/т*) при алапаевских сырых бурых железняках, расход древесного угля в среднем за 1938 г. достиг 7,51 *м³*, или 0,98 *т*, или 730 *кг* нелетучего углерода, а в 1939 г. 6,89 *м³*, или 0,93 *т*, или 690 *кг* нелетучего углерода, что также рельефно выявляет невыгодность работы засыпного аппарата Парри на древесноугольных доменных печах.

Придавая особенно большое значение экономии древесного угля, на шведских доменных печах аппарат Парри не ставят даже при очень узких колошниках, с диаметром всего 2 *м*.

Засыпные аппараты Парри совершенно непригодны для современных древесноугольных доменных печей, имеющих размер колошника почти всегда выше 2 *м*.

§ 10. Засыпь аппаратом системы И. В. Поносова

Совершенно неудовлетворительные результаты по расходу древесного угля, получаемые при одинарной и двойной воронке Парри, заставили прибегнуть к улучшению конструкции засыпных аппаратов, хотя бы за счет ее усложнения. На уральских древесноугольных доменных печах получил некоторое распространение засыпной аппарат системы Поносова, представленный на фиг. 184. Аппарат состоит: из конического распределительного кольца 7 с трапециoidalными вырезами на периферии и в центральной части, предназначенными для улучшения разбрасывания руды по сечению колошника; из глубокой, сравнительно небольшого диаметра, приемной воронки 2 и из центрального конуса 3 с соединенным с ним разбрасывающим малым конусом 4 («разбойник»). Коническое распределительное кольцо подвешено на двух штангах 5, которые соединяются траверсой 6 и подвешиваются к балансиру.

Центральный конус со штангой укреплен в направляющих швеллерах. Он имеет некоторый ход кверху до этих швеллеров и может опускаться при понижении конического распределительного кольца до упора головки штанги 7 на упомянутые швеллера. Приемная воронка имеет в нижней части кольцо, которое позволяет сменять аппарат, не вынимая воронки. Центральный конус и «разбойник» соединены между собой жестко при помощи штанги.

Подвижность центрального конуса обеспечивается при достаточно плотном прижатии конического распределительного кольца не только к воронке, но и к центральному конусу. Этой плотности затвора трудно будет достигнуть в том случае, если сделать центральный конус неподвижно закрепленным, потому что тогда распределительное коническое кольцо будет давать

зазор от неточностей обработки и сборки как с воронкой, так и с центральным конусом.

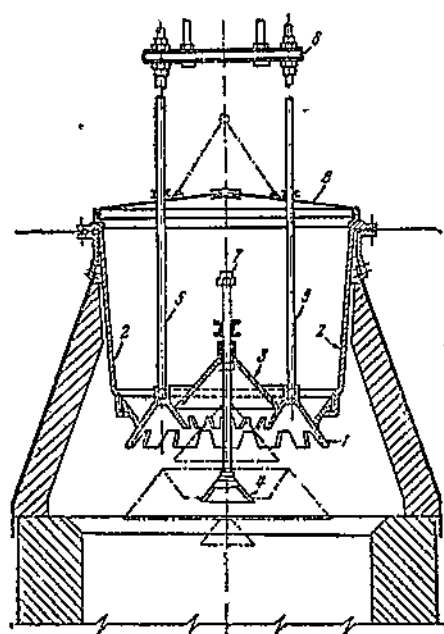
Загрузка аппарата минеральной шихтой производится с двух противоположных сторон из прямоугольных вагонеток с откидывающимся передним бортом, а загрузка древесного угля из подвесных вагонеток также прямоугольного сечения с кольцевого бимсового пути.

Небольшой диаметр приемной воронки несколько выравнивает двустороннюю засыпь минеральной шихты на аппарат.

После того как в приемную воронку загружена очередная колоша, коническое распределительное кольцо опускается, причем первое время одновременно с ним опускается также центральный конус, опирающийся на кольцо, и при этом сыпается материал на периферию к стенкам печи, но после того как центральный конус остановится при достижении головкой штанги швеллеров, начнет образовываться зазор уже между центральным конусом и распределительным коническим кольцом и в центральную часть печи сыпается материал, расположенный на центральном конусе.

Находящийся под центральным конусом «разбойник» не позволяет материалу лечь кучей по оси печи и разбрасывает его по периферии.

Необходимо обеспечивать при установке центральное положение разбрасы-



Фиг. 184. Засыпной аппарат системы И. В. Поносова.

вающего малого конуса, иначе рудная сыпь может получить одностороннее направление.

Положение его под центральным конусом обуславливает невозможность наблюдения за ним и вследствие этого нередко под воздействием разбивания материалов и высоких температур «разбойник» падает в печь, распределение материалов резко изменяется, и это обстоятельство остается незамеченным до очередного капитального ремонта аппарата.

На время открывания конического распределительного кольца аппарат закрывается крышкой 8, которая ходит вдоль штанг как в направляющих и имеет стальной или чугунный литой борт, опирающийся на коническую заточку верхнего края приемной воронки.

Важнейшему требованию обеспечения полной безопасности работы при полумеханизированной загрузке с присутствием на колошнике печи рабочих — аппарат И. В. Поносова не удовлетворяет, так как при осадках доменной печи подбрасывается кверху центральный конус и в щель между распределительным коническим кольцом и упомянутым центральным конусом вырывается в зону рабочего места газ и пламя, а нередко и раскаленные материалы (Серовский завод). Для устранения подбрасывания на шток центрального конуса, под швеллера ставится шайба, но надежность запора шайбой не может быть вполне достаточной.

Наличие трапециoidalных вырезов улучшает распределение, но ослабляет края распределительного кольца, а поэтому оно может коробиться; даже в нормальных условиях работы печи аппарат после коробления сильно газит, а пламя горящего газа нередко мешает и затрудняет работу по загрузке печи. Как известно, во избежание коробления конуса аппарат делается со значительным утолщением нижней кромки, но этого здесь сделать не представляется возможным, если не отказаться от трапециoidalных вырезов.

Крышка, закрывающая аппарат на время ссыпания в печь материалов, работает неудовлетворительно; поэтому горение газа быстро ее коробит, вызывает трещины и фактически не обеспечивает верхнего затвора.

В отношении распределения материалов по сечению колошника нельзя считать аппарат И. В. Поносова совершенным, потому что двусторонняя загрузка даже при небольшом диаметре приемной воронки не дает равномерного распределения материалов по окружности и в печи получаются два потока горячих и неработающих на восстановление газов, расположенные под углом в 90° от мест загрузки вагонеток.

Эти потоки горячих газов, вследствие неиспользования восстановительной способности газов, вызывают повышенный расход древесного угля, а кроме того причиняют разгар кладки с превращением круглого сечения в овал, малая ось которого совпадает с местом разгрузки рудных вагонеток.

Разбрасывающий малый конус очень часто в процессе работы печи от действия высоких температур и разбивания материалами выходит из строя и тогда аппарат начинает работать, сосредоточивая рудную сыпь кучей у оси печи.

Но, все-таки, и при таких крупных дефектах в распределении материалов аппарат системы Поносова обеспечивает лучший расход древесного угля, по сравнению с аппаратом Парри на 10—15%, что обуславливается значительным сокращением центрального потока газов.

Недостатком в распределении материалов следует считать отсутствие возможности свободного регулирования размера рудной сыпи, направляемой на периферию и в центральную часть печи; раз навсегда выбранное соотношение остается на все случаи работы печи на протяжении кампании.

Крупным недостатком распределения материалов также является отбрасывание материалов на периферию с разбрасывающего малого конуса, что полностью не устраняет центрального потока неработающих газов.

По данным доменной печи № 4 Серовского завода с засыпным аппаратом системы И. В. Поносова при работе на 50% воронцовских магнитных железняков с содержанием железа 56 и 50%, высокогорских мытых полумартитов с 56—59% железа и при расходе стружки в 12,5% от веса чугуна был получен расход древесного угля в 7,9 м³ на тонну чугуна.

Анализ древесного угля в условиях Серовского завода, примерно следующий: нелетучего углерода — 71%; летучих — 26%; золы 1%; влаги 2%. Вес 1 м³ древесного угля — 137 кг. Расход нелетучего углерода при засыпном аппарате системы И. В. Поносова при работе на богатых и достаточно удобовосстановимых рудах достигает $7,9 \cdot 0,137 \cdot 0,71 = 0,77$ т.

Сравнительные данные по работе засыпного аппарата системы И. В. Поносова на широких и узких колошниках доменных печей усматриваются из нижеследующего:

Расход	Доменная печь № 7, колошник 3,6 м, 1937 г.		Доменная печь № 5, колошник 3,0 м, 1940 г.
	передел- ный чугун	литейный чугун	переделный чугун
Железной руды, т/т	1,80	1,51	1,69
Металлодобавок	0,09	0,26	0,10
Древесного угля, м³/т	7,3	11,2	6,5
Нелетучего угле- рода, кг/т	670	1050	605

При узком колошнике получается расход горючего значительно ниже, что объясняется меньшим влиянием в этих условиях перегруза центральной части и двусторонней загрузки вагонеток. Неправильное распределение при двусторонней загрузке вагонеток трудно полностью исправить даже трудоемким разгребанием куч по периферии.

Такой расход следует признать лучшим, чем при пользовании аппаратом Парри, но все же достаточно высоким и требующим мероприятий для снижения.

Аппарат системы Поносова при неудовлетворительной конструкции крышки имеет значительные потери газа. Потери газа при этом аппарате Серовским заводом оцениваются в 10—15%, что имеет существенное значение для теплового баланса завода.

Требованию минимального измусоривания древесного угля засыпной аппарат удовлетворяет.

В отношении прочности аппарата следует указать на его наклонность к короблению, вследствие трапециoidalных вырезов по краю конуса, в связи с чем он не выдерживает службы на протяжении полной кампании печи.

Требованию простоты и легкости ремонта аппарат удовлетворяет достаточно хорошо. Смена аппарата не составляет большого труда и требует немного времени.

Нельзя не отметить, что наличие конуса-разбойника, безусловно, улучшающего распределение материалов, к сожалению, достигается за счет отнятия некоторой полезной высоты доменной печи.

Рассмотрение вопроса соответствия засыпного аппарата системы И. В. Поносова требованиям рациональной конструкции позволяет сделать заключение, что этот аппарат требует улучшения в отношении техники безопасности и лучшего распределения материалов с целью снижения расхода древесного угля.

§ 11. Засыпной аппарат южно-уральского типа

Стремясь к улучшению засыпного аппарата Парри, на заводах Южного Урала много раньше применили засыпной аппарат, сходный с аппаратом системы И. В. Поносова. Засыпной аппарат южно-уральского типа, изображенный на фиг. 185, представляет собой конус Парри 1, закрывающий снизу приемную воронку 2. В верхней части конуса Парри сделано отверстие с воронкой 3, которое закрывается конусом-крышкой 4, подвешенным на свободно свисающих цепях 5. К конусу 1 прикреплен на кронштейнах конус-разбойник 6, служащий для разбрасывания шихты, поступающей в центральную часть доменной печи. Через конус-разбойник проходит направляющая штанга от крышки-конуса 4. Большой конус подвешен на две тяги 7 и опускается при помощи балансира.

Над приемной воронкой проходит узкоколейный рельсовый путь, по которому в центральную часть аппарата поступает руда и флюсы в вагонетках той или другой конструкции, обычно в виде цилиндрических бадей с коническим днищем, устанавливаемых на тележке, закрывающихся снизу конусом.

Руда из вагонетки попадает вначале на крышку конуса 4, а после того, как заполнит воронку 3, ссыпается на большой конус 1 в приемную воронку 2.

При опускании конуса 1 шихта ссыпается на периферию и в центральную часть печи, причем конус-разбойник не позволяет рудной сыпи ложиться кучей по оси печи.

Древесный уголь поступает обычно с кольцевого бимсового пути исключительно на периферию доменной печи.

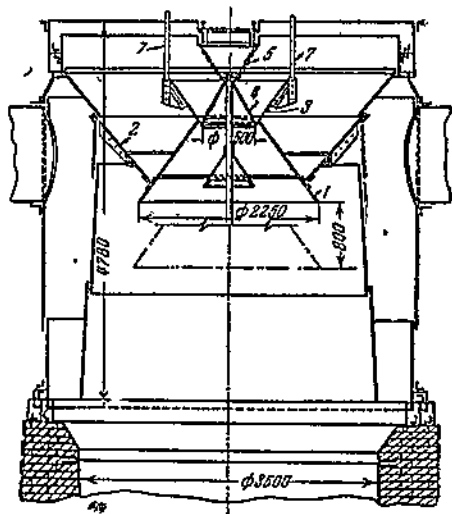
На периферию доменной печи дается 60—75% всей рудной сыпи, а остальная сыпь поступает в центральную часть печи.

На время опускания конуса аппарат закрывается крышкой, но на некоторых заводах крышка отсутствует и из колошника при опускании конуса вырываются воспламеняющиеся газы.

С точки зрения техники безопасности засыпной аппарат южно-уральского типа страдает большими недостатками. Конус-крышка лежит на воронке сверху, а поэтому, при повышении давления в печи или при осадке конус-крышка подбрасывается и из отверстия воронки вырываются газы с пламенем и выбрасывается нередко большое количество раскаленного древесного угля. Если такое подбрасывание конуса-крышки случается при загрузке аппарата, когда рабочие вынуждены находиться вблизи, накатывая на рельсовый путь вагонетку, то пламя и раскаленный материал причиняют ожоги, нередко тяжелого характера.

Создать герметичность закрытия большого конуса нетрудно хорошей обработкой этого конуса и воронки, но герметичности конуса-крышки достигнуть не представляется возможным, так как конус имеет малый вес, а кроме того обработанная нижняя часть конуса и воронки быстро изнашивается. Поэтому центральная часть аппарата обычно не герметична и сильно газит. Горение газа мешает работать и коробит конус.

Изложенные соображения дают основание сделать вывод, что по условиям техники безопасности на колошнике при полумеханизированной загрузке засыпной аппарат южно-уральского типа совершенно недопустимо устанавливать на доменных печах.



Фиг. 185. Засыпной аппарат ю.-уральского типа.

Что же касается требований правильного распределения материалов, то этому важнейшему требованию, обуславливающему степень экономичности доменной плавки, засыпной аппарат южно-уральского типа удовлетворяет.

На доменной печи № 2 Саткинского завода при работе на богатых обожженных бурых железняках был получен достаточно низкий расход древесного угля ($5,5 \text{ м}^3$ на 1 т чугуна) [36].

Процент непрямого восстановления был получен — 69,2%. Состав колошниковога газа (углекислоты 14,5%; окиси углерода 24,9%; водорода 7,1%; метана 2,4%) и процент непрямого восстановления (69,2%) показывают достаточно рельефно, что результаты работы доменной печи могут быть значительно улучшены. На Теплогорском заводе при ручной засыпи и малой полезной высоте восстановления доходила до 77%, а на доменной печи № 3 Серовского завода до 92%.

Примеры хорошо работающих шведских древесноугольных печей показывают, что при работе на значительно более трудно восстанавливаемых рудах, чем бакальские бурые железняки, возможно достижение коэффициента непрямого восстановления в 80—90% и содержания углекислоты в колошниковом газе 20%.

Подготовка руд к доменной плавке в Саткинском заводе была достаточно хороша: дробление руды ниже 100 мм в поперечнике, обжиг до 400° , нагрев дутья был высок — 650° , поэтому есть основания считать, что в данном случае не были получены лучшие результаты, чем от шведских древесноугольных печей только по причине худшего распределения материалов засыпным аппаратом южно-уральского типа. Расход нелетучего углерода на Саткинской доменной печи составлял 646 кг на тонну чугуна.

В шведских условиях, благоприятных в отношении удобовосстановимости руды, нередко получается расход горючего в $3,6 \text{ м}^3$ на тонну передельного чугуна. Шведский уголь обычно кучного выжига из 50% хвойных и 50% лиственных пород имеет вес 1 м^3 в 155 кг и нелетучего углерода 83%.

Таким образом в лучшем случае расход нелетучего углерода в шведских условиях, менее благоприятных по удобовосстановимости руд, нагреву дутья и при малой форсировке хода печи, был равен:

$$3,6 \cdot 0,155 \cdot 0,83 = 0,46 \text{ т.}$$

Отсюда следует, что на Саткинской доменной печи при улучшении конструкции засыпного аппарата можно иметь уменьшение расхода горючего по крайней мере до:

$$5,5 \cdot \frac{0,46}{0,56} = 4,5 \text{ м}^3 \text{ древесного угля с } 73\% \text{ нелетучего углерода и с весом в } 140\text{—}150 \text{ кг/м}^3.$$

Расход древесного угля указанного качества в $4,5 \text{ м}^3$ на тонну чугуна в условиях Саткинского завода не является предельным, потому что условия Саткинского завода много благоприятнее шведских. Более высокий нагрев дутья, лучшая восстанавливаемость руды, а также форсированный ход печей Саткинского завода позволяют значительно увеличить статью теплового баланса — горение углерода в углекислоту и уменьшить потери на лучеиспускание, что должно значительно понизить расход древесного угля.

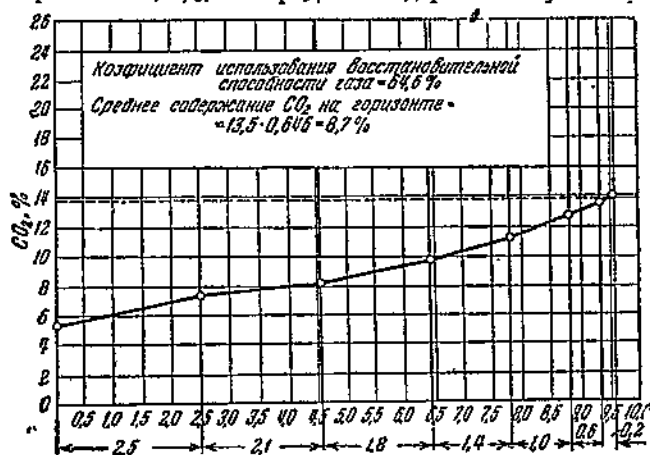
Подсчеты шведского инженера Натхорста [30] показывают, что нагрев дутья сберегает горючее в условиях древесноугольной доменной печи $0,1 \text{ м}^3$ древесного угля на каждые 100° , понижение температуры колошниковых газов на 100° дает экономию древесного угля также в $0,1 \text{ м}^3$ и, наконец, повышение содержания углекислоты в колошниковом газе на 1% дает сбережение древесного угля, по нашим расчетам, 50 кг на тонну чугуна.

Принимая за основание эти данные, легко видеть, что они в полной мере подтверждают возможность снижения расхода древесного угля существующего качества ниже $4,5 \text{ м}^3$ на 1 т передельного чугуна, или $500\text{—}550 \text{ кг}$ нелетучего углерода.

В среднегодовом разрезе при работе на рядовых рудах и на рядовом (около 20% лиственных пород) угле засыпной аппарат южно-уральского типа не обеспечивает достаточно удовлетворительных результатов в отношении расхода горючего.

На той же доменной печи № 2 Саткинского завода, на которой за короткое время Уральский институт металлов получил хорошие результаты по расходу горючего 5,5 м³ или 646 кг нелетучего углерода, по данным Востокастали за 1938 год расход древесного угля равнялся 6,28 м³, или 0,94 т по весу, или 686 кг нелетучего углерода, при расходе руды в 2,01 т на 1 т чугуна, а в 1939 году этот расход составлял 6,35 м³ по объему или 0,95 т по весу, или 700 кг нелетучего углерода, при расходе руды в 2,0 т на тонну чугуна. Для сравнения можно привести данные о работе доменной печи № 3 Серовского завода, где среднегодовой расход на передельный чугун в 1938 году был при работе на худших по восстановимости и подготовке рудах 612 кг нелетучего углерода, т. е. на 74 кг ниже, а в 1939 году — 637 кг, т. е. на 63 кг ниже, чем на Саткинском заводе.

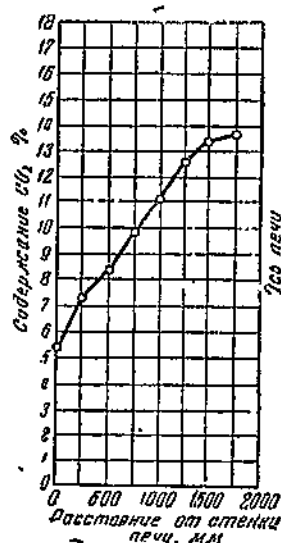
На фиг. 186 и 187 представлен средний состав газа на верхнем горизонте в отношении содержания углекислоты, в линейных и площадных координатах Ашинской доменной печи № 2, по данным инж. А. И. Виноградова. Из диаграмм видно, что на периферии наблюдается резко выраженный поток неудовлетворительно работающих на восстановление газов. Содержание углекислоты у стенки печи является минимальным в 5,2%, по направлению к оси доменной печи возрастает и достигает у оси печи максимума в 13,6%. Средний коэффициент использования восстановительной способности газа равен 64,6%, а среднее содержание углекислоты на горизонте равно 8,7%.



Фиг. 187. Состав газа на верхнем горизонте Ашинской доменной печи № 2 в среднем за 10 исследований.

необходимость регулирования засыпи между периферийной и центральной частью доменной печи. Точно так же видно, к каким неудовлетворительным результатам в отношении работы доменной печи приводит подача в центральную часть печи постоянного количества рудной сыпи.

Уральский институт металлов производил регулировку засыпного аппарата доменной печи № 2 Ашинского завода [37], для чего проводилось исследование



Фиг. 186. Анализ газа на верхнем горизонте Ашинской доменной печи № 2 в среднем за 10 исследований.

Приведенные результаты позволяют сделать заключение, что работа доменной печи, несмотря на удобовосстановимость шихты, была явно неэкономичной, вследствие перегрузки рудной сыпью центральной части печи. Нет никаких сомнений, что работа доменной печи резко улучшилась бы при увеличении рудной сыпи на периферии, что позволило бы увеличить общий вес рудной сыпи в колошу и значительно снизить расход горючего.

Здесь следует отметить, что приведенным исследованием рельефно выявляется не-

состав газы по сечению печи на расстояние 2,5 м, ниже уровня засыпи, а также поверхности засыпи путем замера при помощи груза, опускаемого на поверхность засыпи на тонком стальном канатике.

На фиг. 188 даны наилучшие результаты, которые были получены Институтом металлов после регулировки засыпного аппарата южно-уральского типа при объеме колоши в 13,28 м³ и в 11,62 м³ при работе на отборном древесном угле и отборных бакальских богатых, в значительном количестве (15%) обожженных рудах. Для удобства сравнения с результатами работы других печей на фиг. 189 приведен состав газа в линейных и площадных координатах по сечению колошника на верхнем горизонте для колоши 11,62 м³, а на фиг. 190 — то же, для колоши 13,28 м³.



Фиг. 188. Схема расположения угольной и рудной колош при засыпном аппарате ю.-уральского типа после переделки на доменной печи № 2 Ачинского завода по данным УИМ.

Небезынтересно отметить также, что равномерная засыпь в данном случае не является оптимальной засыпью, так как при этом имеет место некоторый перегруз рудной сыпью центральной части печи, что неблагоприятно отражается на расходе горючего вследствие ухудшения работы горна, вызываемого неактивностью его центральной части.

Имея в виду расположение фурменных очагов горна на периферии, для получения оптимальной засыпи целесообразно несколько недогружать центральную часть печи, что скажется на снижении содержания углекислоты у оси печи, но это обстоятельство большого значения на средний состав колошникового газа в отношении углекислоты оказать не может, так как площадь круга по оси печи, на которой это может быть допущено, составляет незначительный процент от всей площади колошника.

Если даже содержание углекислоты у стенки печи будет выше, чем у оси печи на 2—4%, то это обстоятельство скажется благоприятно на расходе горючего, так как некоторая недогрузка центральной части печи благоприятно отражается на работе горна.

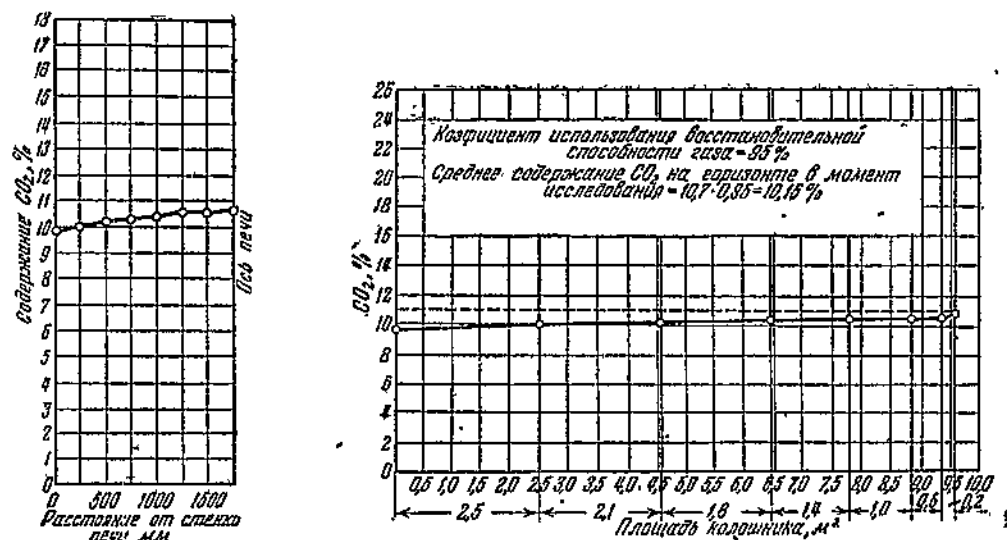
Из приведенных диаграмм видно, что при довольно равномерном содержании углекислоты по сечению печи содержание ее в газе невысокое: для колоши в 13,28 м³ от — 10,5% до 11,1%, что указывает на низкую экономичность доменной плавки; при колоше объемом в 11,62 м³ это содержание углекислоты в газе колеблется от 9,95% на периферии до 10,7% — в центральной части печи. Как видно, при объеме колоши в 13,28 м³ получается несколько лучшее распределение материалов.

Самой собой разумеется, что единственные кривые, приведенные в исследовании, не могут являться критерием для оценки распределения материалов в доменной печи при разнообразных условиях работы печи в отношении распределения, расхода материалов и работы фурменных очагов горна.

Исходя из средних результатов за продолжительное время, расход древесного угля при засыпном аппарате южно-уральского типа дошел за 9 месяцев 1939 года по данным Востокостали на Ачинском заводе при угле хорошо выжженном с большим содержанием нелетучего углерода (75% и с весом 1 м³ — 150 кг) до 7,61 м³ на тонну чугуна, или 1,11 т или 860 кг нелетучего углерода на тонну чугуна. Из этого видно, что результаты работы засыпного аппарата южно-уральского типа оставляют желать много лучшего.

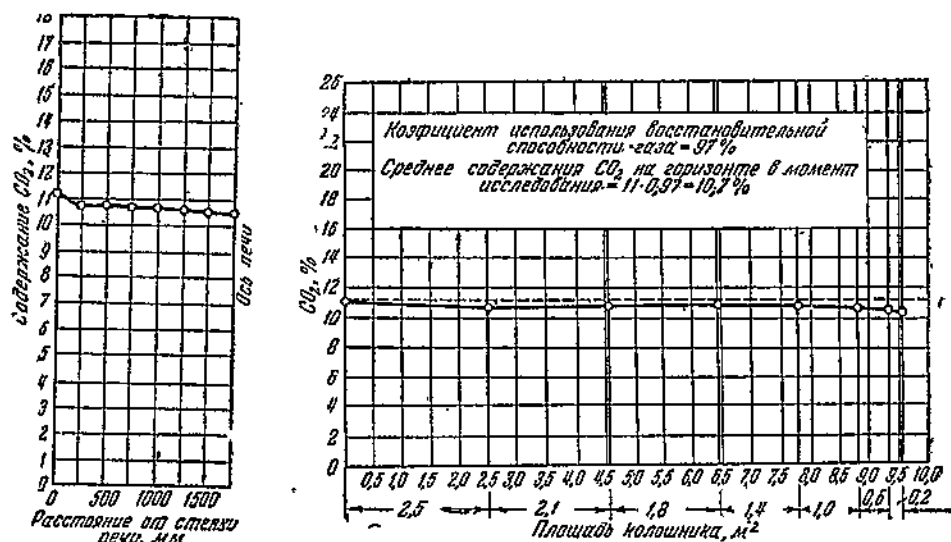
Само собой разумеется, что надо стремиться не к абсолютной равномерности состава газа по сечению колошника, а к поднятию процента содержания углекислоты в среднем по исследуемому горизонту при данной степени интенсивности работы доменной печи.

Основной недостаток аппарата южно-уральского типа заключается в отсутствии регулирования засыпи между центром и периферией, в чем есть насущная



Фиг. 189. Состав газа на верхнем горизонте Ашинской доменной печи № 2 при колоше 11,62 м²: слева — в линейных координатах; справа — в площадных координатах.

необходимость при изменении сортов или качества проплавления руд, общего веса рудной сыпи в колошу, сорта выплавляемого чугуна, температуры дутья,



Фиг. 190. Состав газа на верхнем горизонте Ашинской доменной печи № 2 при колоше 13,28 м². по данным УИМ в линейных и в площадных координатах.

состояние температурного режима горна по сечению и по ряду других причин, могущих встретиться в практических условиях.

Что же касается зависимости распределения от степеней надзора, то следует указать, что аппарат южно-уральского типа требует постоянного и вниматель-

ного надзора и выравнивания руды на аппарате гребками, что, конечно, усложняет обслуживание и затрудняет быструю подачу колош.

Требованию минимальных потерь газа засыпной аппарат южно-уральского типа не удовлетворяет, так как крышка-конус закрывается неплотно и место соприкосновения ее с воронкой постоянно газит, отсутствие крышки также увеличивает потерю газа. Надо считать потери газа при аппарате южно-уральского типа примерно 10—15%.

Требование минимального измусоривания древесного угля аппарат выполняет достаточно хорошо.

Требованию прочности и бесперебойной службы на протяжении кампании печи засыпной аппарат не удовлетворяет даже в том случае, если он изгото-

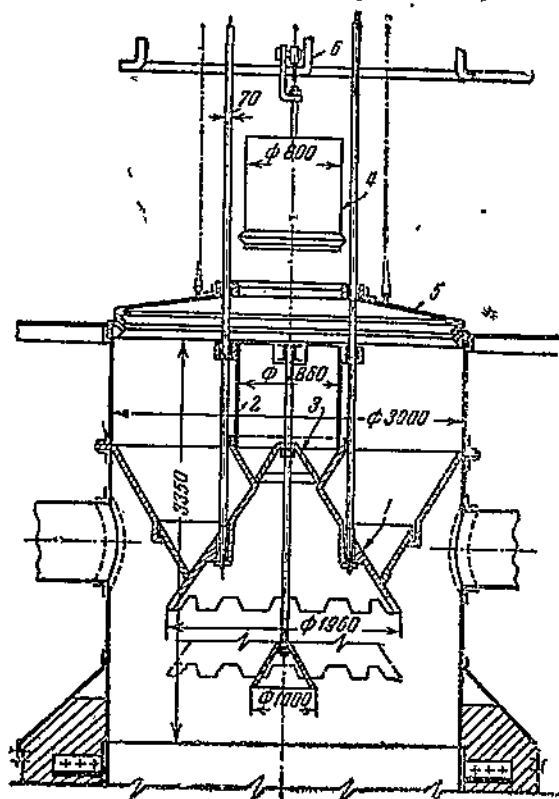
влен из стальных отливок. Крышку-конус и «разбойник» приходится менять обычно несколько раз за кампанию печи.

В отношении простоты устройства и установки по высоте — засыпной аппарат южно-уральского типа удовлетворяет полностью предъявляемым требованиям.

В заключение можно отметить, что применение засыпного аппарата южно-уральского типа не оправдывается, вследствие неудовлетворительного его устройства с точки зрения техники безопасности и перерасхода горючего, ввиду недостаточно хорошего распределения материалов по сечению колошника.

Совершенно очевидно, что засыпные аппараты южно-уральского типа необходимо заменить более совершенными, создающими лучшие условия в отношении техники безопасности и дающими лучшие результаты по расходу дорогого древесного угля.

В 1926—1927 году автором при консультации проф. И. А. Соколова засыпной аппарат южно-ураль-



Фиг. 191. Улучшенный аппарат ю.-уральского типа с загрузкой бадьями с бимсового пути.

ского типа был улучшен при проектировании доменных печей Пашийского и Саткинского заводов.

Улучшенный аппарат изображен на фиг. 191 при загрузке из бадь, подаваемых по бимсовому пути, и на фиг. 192 при загрузке из вагонеток, накатываемых на засыпной аппарат.

Изображенный на фиг. 191 засыпной аппарат отличается от аппаратов южно-уральского типа тем, что большой периферический конус 1 снабжается воронкой 2 с коническим дном, которая закрывается конусом-крышкой 3.

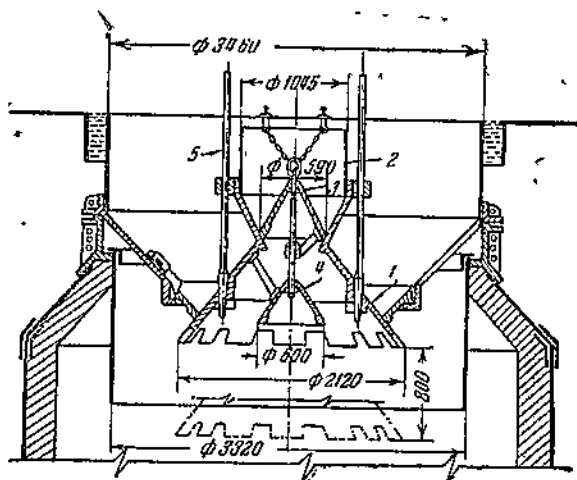
Руда подается в бадьях 4 по бимсовому пути. Бадьи делают двух типов: с конусом, равным диаметру центральной воронки, и с конусом, меньшим диаметра центральной воронки (фиг. 193).

Бадья с большим конусом служит для загрузки руды и известняка на периферию, а бадья с малым конусом — для загрузки в центральную воронку аппарата.

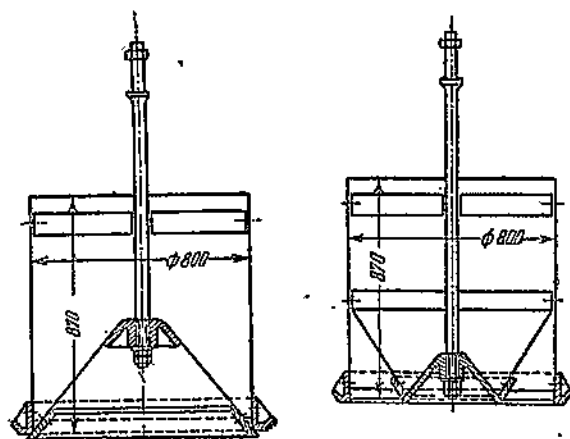
Для загрузки в засыпной аппарат бадьи устанавливаются на среднюю часть крышки 5 на литое кольцо. Посадка бадьи и опускание ее конуса производится при помощи опускания части бимсового пути 6. Во время опускания большого конуса для загрузки шихты в доменную печь бадья закрывает отверстие в крышке.

Древесный уголь подается на кольцевой бимсовый путь в вагонетках типа, обычно применяемого на канатных дорожках. Вагонетки с древесным углем загружаются в засыпной аппарат при поднятой крышке.

Засыпной аппарат (фиг. 192) загружается рудой и известняком из двух типов вагонеток со съемным цилиндрическим кожухом, опирающимся на неподвижный конус, закрывающим устье вагонетки. Один тип вагонетки имеет конус большой, а другой малый. Вагонетки с большим конусом подают руду и известняк на периферию, а с малым конусом — в центральную воронку. Оба засыпных аппарата (фиг. 191 и 192) имеют преимущество по сравнению с аппаратом южно-уральского типа в том, что здесь имеется полная возможность регулировать по желанию количество рудной сыпи, поступающее на периферию и в центральную часть печи, что позволяет иметь наиболее правильное распределение материалов по сечению доменной печи, а следовательно, и лучший расход древесного угля.



Фиг. 192. Улучшенный засыпной аппарат ю.-уральского типа с загрузкой из вагонеток узкой колеи: 7 — периферийный конус; 2 — центральная воронка; 3 — центральный конус; 4 — «разбойник»; 5 — штанги.



Фиг. 193. Бадьи: слева — с большим конусом для загрузки на периферию; справа — с малым конусом для загрузки в центральную часть.

Среди доменщиков довольно распространено далеко не правильное мнение, что засыпной аппарат Парри для всех случаев практики является универсальным прибором, дающим лучшие результаты. Практика Саткинского и Пашийского заводов чрезвычайно легко опровергает этот распространенный взгляд. Засыпными аппаратами этих заводов имеется возможность работать без подачи руды в центральную часть печи, т. е. превратить этот аппарат в засыпной аппарат Парри. При работе на аппарате Пашийского завода, как на аппарате Парри, имеющем диаметр большого конуса 1960 мм при диаметре колошника 3000 мм,

Практика работы Пашийского завода выявила, что при работе на богатых и легковосстановимых горючегорудных и высокогорских мартиках и при хорошей отрегулировке количества руды, поступающей в центр и на периферию печи, расход елового печного древесного угля снижался до 5,5 м³, т. е. аппарат давал лучшие показатели работы, чем на Саткинском заводе, несмотря на более трудно восстанавливаемые руды и ограниченные воздуховыводные средства, не позволявшие дальнейшую выгодную форсировку хода печи.

Среди доменщиков довольно

легко устанавливается на определенную колошну древесного угля определенной оптимальной рудной сыпи, соответствующая выплавке известного сорта чугуна. Изменение рудной сыпи в сторону увеличения уже изменяет условия работы и приводит к изменению химического состава чугуна и похолоданию печи. Однако, доменная печь, не принимая увеличения рудной сыпи при аппарате Парри, начинает принимать это увеличение рудной сыпи, если вводить ее в центральную часть печи через центральную воронку, причем в зависимости от хода доменной печи представляется возможным дать в центральную часть от 25 до 40% периферической рудной сыпи, максимально установленной при работе такого аппарата, как Парри.

Этот факт твердо устанавливает полную непригодность аппарата Парри для древесноугольных доменных печей при диаметре колошника 2000 мм и выше, вследствие резко повышенного расхода древесного угля на 25—40% по сравнению с засыпными аппаратами, имеющими двойную засыпь. На это доменщики, еще не отвыкшие от взгляда на аппарат Парри, как на наилучший и универсальный, должны обратить особое внимание.

Практика работы с аппаратом, имеющим двойную засыпь, также устанавливает, что подача руды в центральную часть печи не может быть постоянной, а зависит от работы и расхода материалов. Поэтому для получения наилучших результатов, количество руды, поступающей в центральную часть печи, должно регулироваться в зависимости от хода последней.

В свое время на Пашийском заводе был введен контроль над распределением материалов в доменной печи, путем регулярного замера несколько раз в смену температур по сечению шахты на 1—2 м ниже уровня засыпи, железным шомполом. Нагрев шомпола отчетливо выявлял неправильности распределения материалов и по показанию шомпола устанавливалось точно требуемое ходом доменной печи количество рудной сыпи в центральную часть печи и на ее периферию. Ввод шомпола в печь не представляет никакого труда, а измерение температуры шомпола поверхностной термопарой можно сделать быстро и с точностью, вполне достаточной для практики.

Между прочим, такой контроль над распределением засыпи, возможно с некоторой механизацией при вводе шомпола, был бы очень полезен не только для древесноугольных, но и для больших коксовых доменных печей.

Выявленная выше необходимость регулирования, в зависимости от хода доменной печи, количества рудной сыпи, поступающей в центральную часть печи и на периферию, устанавливает крупный недостаток тех аппаратов с двойной засыпью, которые дают всегда постоянное количество руды в центральную часть печи.

При всех указанных выше достоинствах улучшенного засыпного аппарата южно-уральского типа в отношении распределения материалов остался здесь неустранимым дефект этого аппарата — возможность подбрасывания крышки конуса при осадках, а это делает его неприемлемым с точки зрения техники безопасности, так как при подбрасывании крышки-конуса в зону рабочих мест вырывается пламя и выбрасываются раскаленные материалы, что влечет за собою несчастные случаи с рабочими, обслуживающими колошник печи. Таким образом, и улучшенные аппараты южно-уральского типа по современным требованиям непригодны к установке на доменной печи и должны быть заменены более совершенными.

§ 12. Засыпь аппаратом системы Шарлевиля

В поисках улучшения распределения материалов на колошнике доменной печи по сравнению с аппаратом Парри, был применен впервые около 60 лет назад на доменных печах Швеции засыпной аппарат системы Шарлевиля.

Этот аппарат (фиг. 194) состоит из приемной воронки 1, центрального конуса 2, жестко связанного с траверсой 4 и подвижного конуса 3 кольцевой формы, закрывающего приемную воронку аппарата при помощи трех лап 5, присоединенных к штанге 6, проходящей через центральный конус. Штанга кольцевого

конуса подвешивается к балансиру той или другой конструкции, которым и производится опускание ее для загрузки материалов из приемной воронки в доменную печь.

Описанная конструкция лучше аппаратов Поносова и южно-уральского типа, так как центральный конус закреплен подвижно и при осадках не может быть выброшен. Однако, неподвижное закрепление центрального конуса неблагоприятно влияет на герметичность засыпного аппарата, так как в практических условиях очень трудно обеспечить хорошую пригонку обработкой кольцевого конуса одновременно к воронке и центральному конусу, а поэтому аппарат Шарлевиля обычно сильно газит, причем если газ горит, то аппарат коробится и пламя мешает обслуживанию его, если же газ не загорается, то получается отравление окружающей атмосферы окисью углерода и рабочие на колошнике угаивают.

На старых печах завода им. Дзержинского, где около 20 лет тому назад стояли аппараты Шарлевиля, всегда имело место угорание рабочих на колошнике, следовательно условиям техники безопасности аппарат системы Шарлевиля не удовлетворяет.

В отношении правильного распределения материалов по сечению колошника засыпной аппарат Шарлевиля также имеет недостатки, так как при нем сыпь производится не в центральную часть печи, а к оси ее и кучей, оставляя неудовлетворительно заполненное рудой пространство, представляющее проекцию конического кольца на колошник печи.

Только очень малые диаметры колошников шведских древесноугольных доменных печей (ниже 2500 мм) и небольшие размеры горнов (около 2000 мм) позволяют иметь при аппарате Шарлевиля сравнительно удовлетворительное распределение материалов и невысокий расход древесного угля.

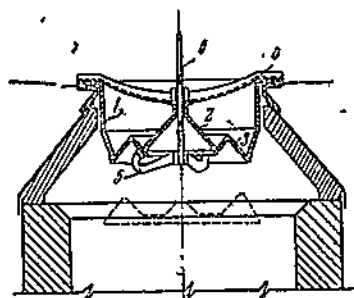
Это объясняется тем, что наличие узкого горна дает высокую степень активизации всей его площади и высокие температуры, а узкий колошник при умеренной подаче руды к оси печи обеспечивает ее правильное распределение.

На шведском заводе Форсбанка имеется 4 доменных печи, из которых одна оборудована засыпным аппаратом Шарлевиля, одна аппаратом Парри и две аппаратом Толандера.

Поскольку диаметр горна печей этого завода, всего 1800 мм, а диаметр колошника 2200 мм, то резкой разницы в расходе горючего на этих печах, оборудованных разными засыпными аппаратами, не наблюдается; однако лучшие результаты дают печи, оборудованные приборами Толандера, а не Шарлевиля. Аппарат системы Шарлевиля незначительно улучшает распределение материалов по сравнению с аппаратом Парри при малых диаметрах колошника, а при большом диаметре горна и колошника может дать, благодаря кучности распределения руды по оси печи, и худшие результаты по сравнению с аппаратом Парри.

На доменных печах завода им. Дзержинского переход с аппаратов Шарлевиля на засыпные аппараты Парри несколько улучшил расход горючего.

По свидетельству американских доменщиков Мак-Ки и Хейвена переход с аппаратов Шарлевиля на аппараты Парри в США улучшил расход горючего при работе на коксе при широких горнах американских печей.



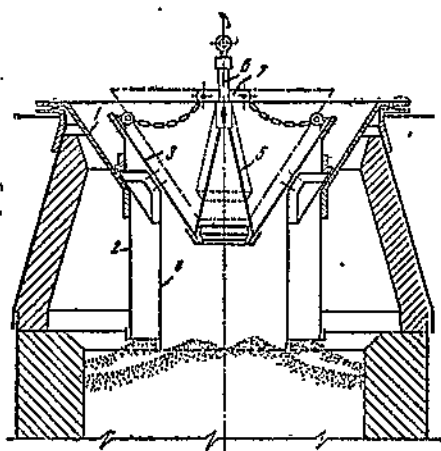
Фиг. 194. Засыпной аппарат системы Шарлевиля.

§ 13. Засыпь аппаратом системы Толандера

Большим распространением на шведских древесноугольных доменных печах пользуется засыпной аппарат системы Толандера (фиг. 195), состоящий из неподвижной приемной воронки 1 с периферическим цилиндром 2, подвижной цен-

тральной конической воронки 3 с прикрепленным к ней центральным цилиндром 4 и из конуса 5, закрывающего сверху отверстие подвижной центральной воронки.

Конус 5 снабжен штангой 6, подвешиваемой к балансиру. В нижней части штанги прикрепляется крестовина 7, к которой подвешивается, на свободно



Фиг. 195. Засыпной аппарат системы Толандера.

висящих в закрытом положении аппарата цепях, центральная коническая воронка.

Засыпь поступает на периферию в приемную воронку и в центральную коническую воронку и может по количеству регулироваться по желанию. Загрузка в доменную печь материалов производится подниманием кверху штанги балансира. Вначале поднимается центральный конус и в печь сыпается материал из центральной воронки, а затем, когда свободно висящие цепи натянутся, начнет подниматься центральная коническая воронка и в печь сыпается материал на периферию.

Загрузка аппарата Толандера производится обычно из подвесных вагонеток, опрокидывающихся на сторону с бимсовыми путями, причем в периферическую воронку эту загрузку удобно производить,

тогда как в центральную воронку неудобно, так как рабочие вынуждены находиться над аппаратом.

В табл. 8 даются результаты работы шведских доменных печей при аппаратах Толандера. Отличительной особенностью является невысокий расход горючего, несмотря на очень неблагоприятные условия: малая форсировка хода, низкий нагрев дутья, а в ряде случаев и неподготовленная руда.

Особенного внимания заслуживают результаты работы завода Герренг на 100% мелочи (шлихов) магнитных железняков. При таком не подготовленном для доменной плавки материале, благодаря хорошему распределению рудной сыпи засыпным аппаратом при низкой температуре дутья был получен расход древесного угля всего 4,87 м³ на тонну чугуна, а расход нелетучего углерода 640 кг на тонну чугуна. Переход этого завода на 100% агломерата снизил расход древесного угля до 3,91 м³, а расход нелетучего углерода до 516 кг на тонну чугуна.

Правильное распределение материалов аппаратом Толандера в значительной степени зависит от обслуживающего персонала, так как при засыпи из вагонеток с загрузкой сбоку требуется последующее выравнивание руды гребками для устранения куч.

Засыпной аппарат Толандера отличается негерметичностью: если допускать горение газа, он сильно коробится и быстро выходит из строя, в противном же случае (при недопущении горения газа) создаются очень тяжелые условия для обслуживающего персонала, так как вблизи аппарата атмосфера отравляется окисью углерода. Потери газа при аппарате Толандера достигают 10—15% и даже выше.

Требованиям прочности аппарат Толандера не удовлетворяет. Обычно за кампанию печи приходится сменить несколько аппаратов, причем особенно быстро аппарат выходит из строя при высокой температуре колошника.

При взрывах газа на колошнике аппарат подбрасывается кверху и при этом часто выходит из строя.

Конструкция аппарата сложна и он легко выходит из строя от коробления. Ремонт аппарата или даже полная его смена осуществляется сравнительно просто и не требует много времени.

По высоте аппарат Толандера не занимает много места и отнимает лишь минимальную полезную высоту печи.

Таблица 3

Результаты работы шведских доменных печей при аппаратах Толандера

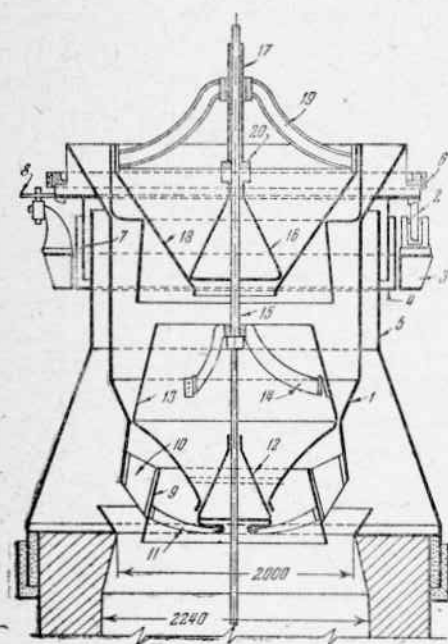
Технические показатели	Завод Фагер- ста	Завод Фагер- ста	Завод Форс- бак	Завод Гер- ренг	Завод Гер- ренг
Полезный объем доменной печи, м ³	87	87	70	71	71
Диаметр горна, мм	1900	1900	1800	1800	1800
Диаметр колошника, мм . .	2100	2200	2200	2100	2100
Суточная производитель- ность, т	40	50	24	45	45
Коэффициент использова- ния полезного объема, м ³ /т	2,2	1,7	2,9	1,6	1,6
Состав рудной шихты: аг- ломерата из магнитных железняков, %	94,5	81,5	—	—	100
Обоженных кусковых маг- нитных железняков, % . .	—	—	96,1	—	—
Мелочи (шлихов) магнит- ных железняков, % . . .	5,5	18,5	3,9	100	—
Рудной сыпи на периферии	60	60	65	72—73	62—75
Рудной сыпи в централь- ную часть печи, % . . .	40	40	35	27—28	35—38
Сорт выплавляемого чугуна	Основн. марте- новск.	Основн. марте- новск.	Бессеме- ровский	Экспорт- ный ковкий	Экспорт- ный ковкий
Анализ чугуна: кремния, %	0,5	0,8	1,1	0,2—0,8	0,2—0,8
марганца, %	1,2	1,0	3,3	0,2—0,5	0,2—0,5
Температура дутья, °С . .	400	450	350—400	250—400	240—390
Расход древесного угля, м ³	3,75	4,00	5,63	4,87	3,91
Расход нелетучего углеро- да при среднем весе 1 м ³ древесного угля в 160 кг и содержание нелетучего углерода 83%, в кг на 1 т чугуна	486	528	744	640	516
Выход чугуна из руды, %	64,3	62,8	56,3	64,8	57,9

Несмотря на хорошие результаты в отношении расхода горючего, по условиям техники безопасности, малой прочности и негерметичности аппарат Толандера нельзя рекомендовать и допускать к применению на доменных печах СССР.

§ 14. Засыпь аппаратом Квеннерштедта

Лучшим засыпным аппаратом на шведских древесноугольных доменных печах считается засыпной аппарат системы Квеннерштедта, изображенный на фиг. 196. Аппарат состоит из вращающейся воронки 1, опирающейся на ролики 2, укрепленные на кронштейнах 3. Кронштейны 3 в свою очередь крепятся к водяному жолобу 4 в верхней части кожуха доменной печи 5. Вращающаяся воронка 1 в верхней части имеет шестерню 6, при помощи которой через ряд

передач осуществляется ее вращение. Создание герметичности между вращающейся воронкой и кожухом доменной печи достигается водяным затвором, состоящим из кольцевой перегородки 7, прикрепленной к вращающейся воронке, и упомянутого выше жолоба, наполняемого водою при помощи насоса или из водопроводной сети. Для устранения возможности смещения вращающейся воронки по отношению к оси печи, по окружности располагаются направляющие ролики 8. В нижней части воронки имеется распределительное коническое кольцо 9, которое прикрепляется к воронке кронштейнами 10. Назначение этого конического распределительного кольца состоит в направлении сыпи на периферию доменной печи. В средней части упомянутого распределительного кольца устанавливается на кронштейнах 11 нижний центральный конус 12, назначение которого — направлять сыпь концентрическим кольцом в центральную часть доменной печи.



Фиг. 196. Засыпной аппарат системы Квеннерштедта (завод «Седерфорс» — Швеция).

Нижний затвор засыпного аппарата осуществляется нижней распределительной воронкой 13, прикрепленной кронштейнами 14 к центральной штанге 15, нижний конец которой для обеспечения правильного расположения воронки проходит через нижний центральный конус. Материалы, идущие на периферию печи, располагаются между стенкой вращающейся воронки и нижней распределительной воронкой, а внутри последней над нижним центральным конусом помещаются материалы, направляемые в центральную часть печи.

Опускание материалов в печь с нижнего затвора производится при поднимании вверх нижней распределительной воронки при помощи центральной штанги, подвешенной к балансиру.

Верхний затвор аппарата состоит из верхнего центрального конуса 16, подвешенного на пустотелой штанге 17, через которую проходит центральная штанга, и из периферической верхней воронки 18 с траверсой 19, охватывающей по оси центральную штангу.

В нижней части пустотелая штанга имеет фланец 20, назначение которого состоит в поднятии за траверсу периферической верхней воронки. Материалы, направляемые на периферию печи, загружаются сбоку в пространство между вращающейся воронкой и периферической верхней воронкой, а внутри последней над верхним центральным конусом располагаются материалы, идущие в центральную часть печи.

Загрузка материалов в печь производится при поднимании пустотелой штанги и верхнего центрального конуса при помощи балансира, причем прежде чем фланец пустотелой штанги не достигнет траверсы верхней периферической воронки, на нижний затвор сыпается материал, находящийся над верхним центральным конусом. Как только фланец пустотелой штанги достигнет траверсы верхней периферической воронки, последняя начнет при дальнейшем подъеме штанги подниматься и на нижний затвор аппарата сыпется материал, помещавшийся между упомянутой периферической верхней воронкой и вращающейся воронкой.

Количество руды и древесного угля, поступающего на периферию и в центральную часть печи, может регулироваться в зависимости от условий доменной плавки.

Для того чтобы выравнивать засыпь в виде куч, получающихся при загрузке засыпного аппарата из открывающихся на бок вагонеток с кольцевого бимсового пути, производится вращение приемной воронки на некоторый угол после загрузки каждой колоши и, таким образом, осуществляется закономерное перемещение по окружности неравномерностей в засыпи и достигается по вертикали в печи равномерное сопротивление шихты движению газов по всему сечению печи. При повороте аппарата на 90° цикл загрузки повторяется через четыре колоши, при повороте на 60° — через шесть колош, при повороте на 40° — через 9 колош, и т. д.

Требованию условий техники безопасности засыпной аппарат Квеннерштедта не удовлетворяет, так как при осадке на доменной печи и при взрыве гремучей смеси на колошнике аппарат подбрасывает и на колошниковую площадку вырывается газ и пламя, а также выбрасываются раскаленные шихтовые материалы. При таких условиях нет гарантии от несчастных случаев во время загрузки аппарата, когда рабочие на колошнике вынуждены находиться вблизи аппарата.

В отношении правильного распределения материалов по сечению колошника аппарат Квеннерштедта удовлетворяет полностью, так как представляет широкую возможность регулировать и иметь желаемую засыпь, в зависимости от условий доменной плавки. По расходу древесного угля засыпной аппарат дает наилучшие результаты на шведских доменных печах и в этом отношении несколько лучше аппарата Толандера.

Благодаря хорошему распределению материалов, печи, снабженные аппаратом Квеннерштедта, отличаются ровностью хода.

Низкая температура колошника шведских древесноугольных доменных печей обеспечивает отсутствие коробления железной конструкции частей аппарата.

Имея два затвора, аппарат является герметичным; с нижнего затвора материалы до тех пор не загружаются в доменную печь, пока не заполнен материалами верхний затвор аппарата, и таким образом все неплотности прилегания движущихся частей последнего уплотняются рудной сыпью и не позволяют газу проникать наружу. Указанному обстоятельству значительно способствует низкое давление газа на колошнике шведских древесноугольных печей, обычно не превышающее 100 мм водяного столба. При повышении давления, очевидно, герметичность аппарата будет утрачиваться.

При аппарате Квеннерштедта получается несколько большее измусоривание древесного угля, потому что здесь имеется одна добавочная перегрузка по сравнению с аппаратами, имеющими одинарный затвор.

Аппарат Квеннерштедта, будучи изготовлен из железа, сильно изнашивается и коробится от действия пламени газа, если это имеет место в практических условиях.

Аппарат также достаточно сложен; при наличии сложной формы воронок из листового железа и вращения аппарата, требуется внимательный уход и частые, хотя и несложные, ремонты. Высота аппарата Квеннерштедта приблизительно равна высоте, требуемой двойной воронкой Парри.

Как видно из чертежа фиг. 196, на заводе Сёдерфорс и других шведских заводах не считают возможным устанавливать простой и дешевый засыпной аппарат Парри, даже при таком небольшом диаметре колошника, как 2,24 м, потому что установка аппарата Парри сопряжена с большим перерасходом древесного угля.

Шведская доменная практика, преследуя цель снижения расхода древесного угля, смело идет на достаточно сложные и требующие большего ухода засыпные аппараты Квеннерштедта.

В наших условиях применить этот аппарат нецелесообразно по условиям техники безопасности, хотя он и отличается целым рядом преимуществ.

ГЛАВА III

КОНТАКТ ГАЗОВ СО СТОЛБОМ ШИХТЫ ДРЕВЕСНОУГОЛЬНОЙ ПЕЧИ НОРМАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ЗАСЫПИ ОДНИМ И ДВУМЯ КОНЦЕНТРИЧЕСКИМИ КОЛЬЦАМИ И ИХ СРАВНЕНИЕ

§ 15. Общие замечания

В эксплуатации доменных печей имеет громадное значение знание и управление контактом газов со столбом шихты в целях получения наилучших экономических результатов.

По заданию Народного Комиссариата черной металлургии кафедрой металлургии чугуна, под руководством автора, было предпринято исследование на доменной печи Серовского завода, ставившее целью выяснить влияние различных режимов распределения материалов на контакт газов со столбом шихты и работу горна, а также установить влияние этого обстоятельства на интенсивность доменного процесса и расход горючего.

Полученные в результате исследования данные выясняют значительное количество вопросов, связанных с разрешением задачи наиболее экономичного ведения доменной плавки, что имеет серьезное значение для эксплуатации доменных печей, почему автор счел необходимым детально остановиться на рассмотрении упомянутых исследований, а особенно на выводах из них, имеющих значение для знания и управления контактом газов со столбом шихты, поскольку эти выводы имеют новизну, значительный научный и практический интерес.

Нужно было доказать, что засыпь двумя концентрическими кольцами наиболее выгодна для древесноугольных доменных печей.

Данные в этом направлении и сравнение однокольцевой и двухкольцевой засыпи в идентичных условиях представляют ценность не только для решения узко практических задач повседневной работы печей, но и для прогресса доменной техники и практики.

§ 16. Экспериментальный засыпной аппарат системы автора [31] для доменной печи

Серовский завод имеет типичную для уральских древесноугольных заводов полумеханизированную загрузку доменных печей.

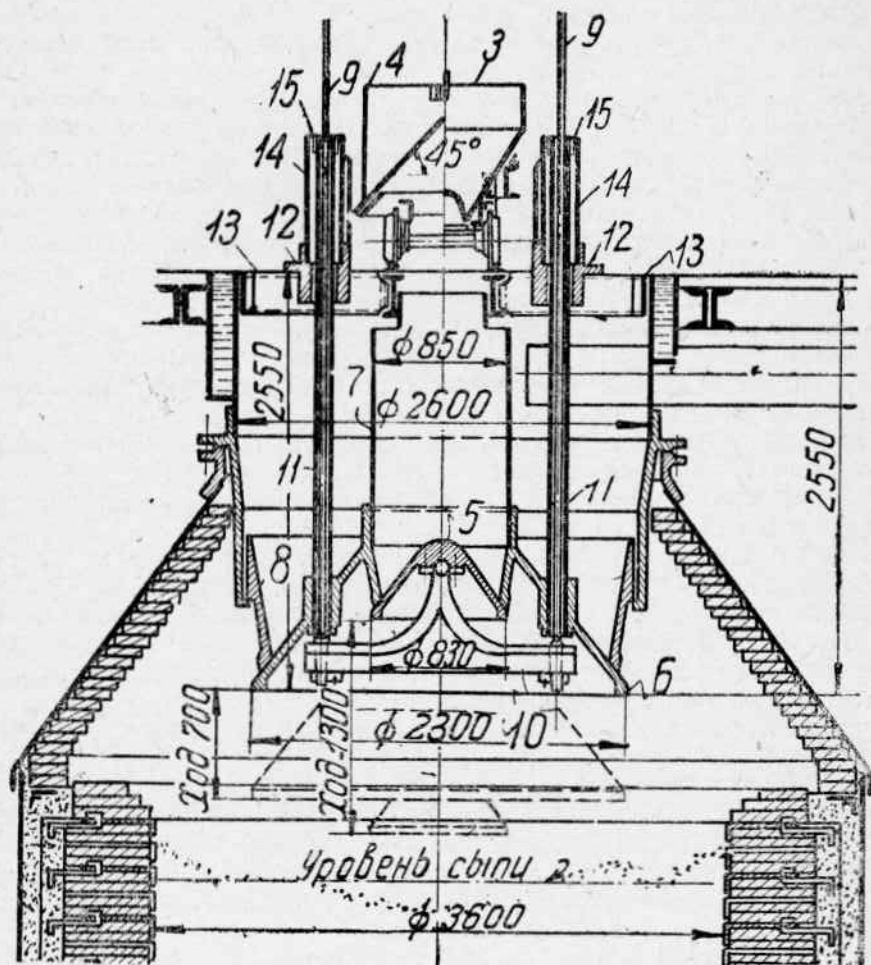
Древесный уголь подается на колошник доменной печи по канатной дороге и по бимсовым путям на отдельные доменные печи. Руды и известняк подаются на колошник доменной печи вертикальными подъемниками в вагонетках. При большом количестве доменных печей в цехе для гибкости маневрирования на колошнике нет узкоколейных путей и передвижение вагонеток осуществляется вручную по настилу из чугунных плит. На фиг. 197 представлено общее устройство доменной печи, причем не только ее профиль и конструкция, а также способ подачи древесного угля.

Профиль нормального типа для древесноугольных доменных печей с диаметром горна в 3,6 м, равным диаметру колошника.

Засыпной аппарат представлен на фиг. 198 и 199.

ческое кольцо совместно с неподвижной воронкой аппарата 8 составляют периферическое загрузочное устройство. Материалы, поступающие в периферическое загрузочное устройство, естественно, попадают на периферию печи, а материалы, загруженные в центральное загрузочное устройство, — в центральную часть печи; при этом угольная колоша для удобства загрузки дается только на периферическую часть аппарата, а для закрывания центральной воронки во время загрузки древесного угля предусматривается задвижка из листового железа.

Опускание и подъем конусов производится при помощи двух штанг 9, рас-



Фиг. 199. Низ засыпного аппарата конструкции В. А. Сорокина.

положенных так, чтобы между ними свободно проходили рудные вагонетки. Эти штанги соединены в нижней части под конусами поперечной траверсой 10 таврового сечения, на которую через шаровое сочленение опирается центральный конус 5. Коническое кольцо опирается на центральный конус и имеет ограничители хода 11 в виде двух полых штанг, прикрепленных к нему неподвижно. Через полые штанги ограничителей хода проходят упомянутые выше штанги для маневрирования аппаратом и, таким образом, центральный конус и коническое кольцо занимают в отношении друг друга постоянное вполне определенное положение. Прикрепление полых штанг ограничителей к воронке 7 осу-

существляется фланцевым соединением и кронштейнами. В верхней части штанги соединены между собой траверсой, а последняя подвешена на цепи Галля к балансиру обычной конструкции.

Крепление штанг к траверсе осуществляется натяжными гайками, служащими для выравнивания штанг при их установке и эксплуатации. Для удобства регулирования балансиры снабжены подвижными подшипниками.

Опоры ограничителей хода представляют собой стальные цилиндрические отливки 12, опирающиеся на разборные на болтах балки 13, прикрепленные к кожуху периферической воронки аппарата. Опоры ограничителей хода делаются с предохранительными кожухами 14 для ограждения от засорения зазора между полкой штангой и опорой ограничителя.

К верху полых штанг посажены на нарезку и приварены монолитные фланцы 15.

Открытие засыпного аппарата происходит следующим образом: при спускании штанг 9 опускается одновременно связанный с ними центральный конус, а также коническое кольцо и в печь сыпается слой руды, находящийся на коническом кольце, через зазор между ними и воронкой аппарата 7.

После того как будет пройден ход, предназначенный для конического кольца, последнее останавливается ограничителями хода, у которых фланцы 15 опираются на упоры 12. Останов при этом, как показала практика, получается достаточно мягкий без удара.

После того как коническое кольцо остановится, повиснув на ограничителях хода (полых штангах), центральный конус продолжает двигаться вниз и в печь сыпается материал в зазор, образовавшийся между центральным конусом и центральной воронкой конического кольца.

Закрывание аппарата происходит при поднимании штанг балансиrom, причем центральный конус подхватывает на своем пути коническое кольцо и прижимает его к воронке. Конструкция периферической и центральной рудной вагонетки представлена на фиг. 200.

Задние оси вагонеток расположены близко к их центру тяжести для обеспечения легкого поворота и подъема при сходе с рельс. Поворот вагонетки и ее передвижение вручную производится за поручни, которые расположены на расстоянии 1,1 м от оси вагонетки, что позволяет без большого усилия со стороны рабочего постановку на рельсы и поворот вагонеток. Колеса вагонеток устанавливаются на роликовых подшипниках.

Для облегчения ссыпания материалов кузов центральной вагонетки делается разъемным.

В засыпных аппаратах системы автора (авт. свид. №№ 34571, 45936 и 51232), в случае стесненных габаритов, взамен ограничительных штанг или в дополнение к ним для большей надежности может быть выполнено устройство (фиг. 201) под периферийным конусом 2 ограничительных кронштейнов 14, прикрепленных к кожуху доменной печи 15 и предназначенных для останова периферийного конуса в нижнем положении.

Эти кронштейны могут заменять ограничительные штанги в случае стесненных габаритов; повысить надежность ограничения хода при применении вместе со штангами; устранить возможность падения конуса на шихту в случае обрыва штанг или подвеса.

По условиям техники безопасности конструкция засыпного аппарата равноценна одинарному засыпному аппарату Парри, так как здесь центральный конус заведен под периферический конус и его выбрасывание при повышении давления на колошнике невозможно, чем аппарат выгодно отличается от аппарата ю.-уральского типа, системы И. В. Поносова, Толандера, Квенерштедта.

Для обеспечения герметичности при закрывании аппарата на время открывания нижних конусов применяется крышка с водяным затвором. Для устранения загрязнения атмосферы колошника при открывании крышки газ поджигается.

Таким образом засыпной аппарат вполне обеспечивает безопасную загрузку и герметичность.

На время открывания нижних конусов, когда печь закрыта крышкой, рабочим не следует находиться вблизи аппарата, и это не следует допускать, чтобы гарантировать полную безопасность и на тот аварийного порядка случай, когда на колошнике получится отрицательное давление¹ засос воздуха и хлопок под крышкой с ее подбрасыванием.

Ведение доменной печи с отрицательным давлением на колошнике совершенно недопустимо, оно может иметь место лишь в момент осадки. Для удаления газа из-под крышки служит особая свеча с клапаном.

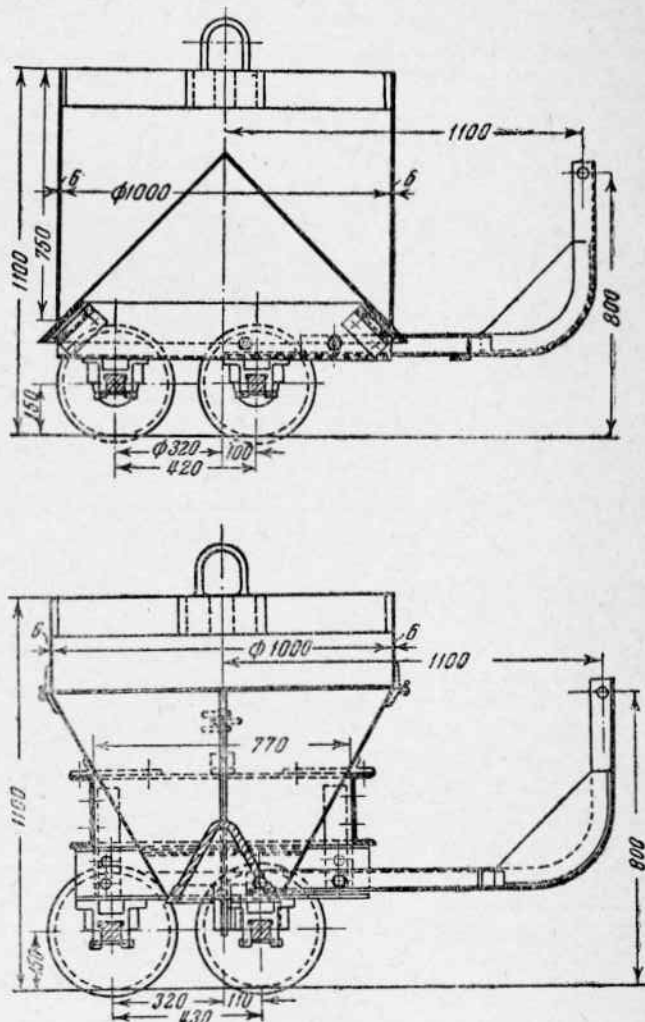
По условиям прочности аппарат вполне надежен и рассчитан на целую кампанию печи. Стенки конусов и воронки делаются толщиной 40—50 мм. В качестве материала для изготовления отливок следует применять хромоникелевый чугун или сталь.

Точно так же безвсякого ущерба для своей прочности и надежности действия аппарат сможет выдерживать высокие температуры колошника, если таковые будут иметь место при неполадках.

При опускании колош конструкция засыпного аппарата обеспечит достаточную плотность закрывания его и наименьшие потери газа. Крышка аппарата плотно садится в водяной затвор и этим исключает возможность проникновения газа во время опускания аппарата для загрузки колош.

У нижнего затвора коническое кольцо прижимается к воронке аппарата с помощью балансира и тяг, чем обеспечивается достаточная герметичность, своей же воронкой коническое кольцо опирается на центральный конус и прижимается к нему своим весом так, что плотность этого соединения исключительно хороша.

Потери газа через аппарат не превосходят 5%.



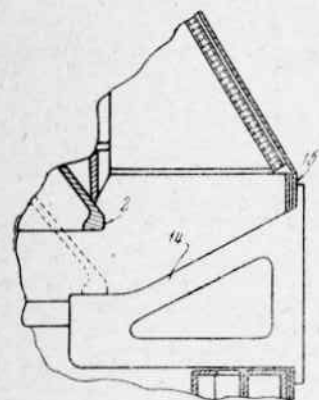
Фиг. 200. Периферическая (вверху) и центровая (внизу) вагонетки.

¹ При недостатке газа у потребителей отрицательное давление на колошнике получается за счет тяги дымовых труб потребителей газа.

Возможность хлопков и взрывов гремучей смеси устраняется благодаря хорошей герметичности засыпного аппарата. Все конусы его заведены под соответствующие воронки, исключена возможность порчи аппарата при осадках печи, так как повышенное давление только прижимает конуса плотно к воронкам, а возможный взрыв (любой силы) не в состоянии вывести аппарат из строя, потому что последний рассчитан на преодоление указанных усилий.

В отношении распределения руды и флюсов по сечению колошника — аппарат позволяет покрывать всю поверхность слоем с максимальной толщиной у стенки печи, причем каждая колоша распределяется правильно и одновременно, что выгодно отличает аппарат от аппаратов Злоказова и других систем, где одна колоша сыплется к стенкам, а другая в центр.

Характер сыпания материалов с конического кольца и с центрального конуса совершенно одинаков — в том и другом случае материал скатывается с опускающегося конуса, что дает наилучшие результаты в смысле распределения. Указанное обстоятельство выгодно отличает этот аппарат от аппаратов ю.-уральского типа и системы Поносова.



Фиг. 201. Деталь ограничительного кронштейна.

Аппарат может быть рассчитан на работу при колоше древесного угля объемом от 10 до 16 м³, причем имеется полная возможность работать и на меньшей колоше любой величины. Величина колоши и глубина уровня засыпи для каждого размера аппарата находится в прямой зависимости от свойств проплавляемых материалов.

При выборе размеров конусов имелась в виду работа преимущественно на кусковых рудах.

Особенностью аппарата является возможность регулирования по желанию количеством рудной сыпи, подаваемой к стенкам печи и к центру, в зависимости от условий хода печи. Точно так же имеется возможность подавать флюсы преимущественно, исключительно или в любой пропорции к стенкам

печи или в центральную часть.

Увеличение количества руды, поступающей к стенкам, представляет прекрасное средство для борьбы с кольцевым периферическим ходом печей около стенок, тогда как уменьшение ее дает в руки доменщиков прекрасное орудие для борьбы с настылями. Преимущества аппарата давали основание предполагать, что его применение будет сопровождаться значительным повышением экономичности доменной плавки, вследствие хорошего использования восстановительной способности и физического тепла колошниковых газов, что обусловит низкий расход горючего и увеличение производительности доменных печей, что полностью подтвердилось впоследствии при работе аппарата.

Так как нижний затвор аппарата состоит из двух конусов (центрального конуса и конического кольца), обеспечивается минимальная высота падения горючего при загрузке, а следовательно, и минимальное измельчение и измусоривание его при сыпании с нижнего затвора в печь.

Аппарат отнимает от печи минимум ее полезной высоты, потому что опускание центрального конуса не требует дополнительного расстояния, так как он находится над воронкой на поверхности засыпи, которая всегда получается по оси печи на колошнике.

По отзыву акад. М. А. Павлова конструкция аппарата была полностью одобрена: «Наиболее удачным из всех представленных я нахожу устройство под девизом «Мысль». Устройство это действительно дает новую мысль и новый способ осуществления подачи материалов на колошник двумя кольцами, содержащими руду в строго определенных весовых отношениях, но меняемых по желанию».

По отзыву профессора доктора И. А. Соколова конструкция получила такую оценку: «Для полумеханизированной засыпи прекрасным аппаратом будет аппарат под девизом «Мысль», так как он дает полную возможность распределять сыпь как по количеству, так и по физическим ее свойствам (по мелкости или крупности) по желанию в периферическую часть печи или в центральную, потому что, ведущее плавку, в полной мере может распоряжаться распределением сыпи, согласно своему представлению об оптимальных условиях засыпи».

Как было указано выше, описываемый аппарат был установлен на доменной печи завода им. Серова и при работе в течение шести лет давал хорошие результаты. Так например, при выплавке высокоглиноземистых шлаков расход древесного угля на 1 т шлака в доменной печи № 4, оборудованной засыпным аппаратом Поносова, был равен 10,77 м³, в то время как в доменной печи № 3 при загрузке аппаратом системы автора расход древесного угля оказался равным 7,48 м³ [32].

Результаты работы доменной печи № 3 по расходу древесного угля в 1938—1939 гг. приводится в табл. 9.

Из таблицы видно, что расход древесного угля во всех случаях является небольшим, что указывает на высокую экономичность работы доменной печи. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что расход нелетучего углерода по весу при работе на литейный чугун значительно ниже, чем на других печах Урала, где этот расход обычно держится в пределах от 700 до 900 кг/т.

Если сравнивать с коксовыми доменными печами, то работа на литейный чугун также более экономична. Коксовая печь расходует углерода на 1 т литейного чугуна не менее 800—950 кг, тогда как на доменной печи № 3 расход углерода составляет всего 640 кг.

Как видно из таблицы, расход древесного угля на валковый чугун также очень невелик и опускается до 0,807 т, а нелетучего углерода до 580 кг/т чугуна. Такие результаты не имели места при работе на других доменных печах Урала в аналогичных условиях.

Данные табл. 9 характеризуют преимущество аппарата, обслуживающего доменную печь Серовского завода.

Таблица 9

Результаты работы доменной печи Серовского завода (1938—1939 гг.)

Период времени	Сорт выплавляемого чугуна	Расход руды, т/т	Расход стружки и скрапа, кг/т	Расход древесного угля, м ³ /т	Расход древесного угля, т/т	Расход нелетучего углерода, кг/т	Время пребывания шихты, часы	Коэффициент использования, м ³ /т	Число дней работы
1938 г.	Перелетный Литейный Ковкий	1,61	123,4	6,32	0,85	612	4,3	1,09	168
		1,68	82,2	7,19	0,96	671	4,2	1,21	151
		1,74	76,0	7,47	0,99	697	4,3	1,29	24
1939 г.	Перелетный Литейный Валковый	1,99	87,1	6,72	0,90	637	4,5	1,29	67
		1,83	57,9	6,96	0,94	640	4,6	1,25	127
		1,84	39,7	6,20	0,83	580	4,6	1,16	39

§ 17. Однокольцевая засыпь по приему Парри

В 1939 г. в условиях обычной работы доменной печи на рядовом древесном угле и рядовых рудах проводилось исследование¹, целью которого являлось установление оптимального режима доменной плавки, соответствующего минимальному расходу горючего и детальное выяснение влияния на расход горючего и интенсивность доменного процесса различных режимов распределения материалов по сечению печи.

Результаты исследования в отношении состава газов и температур даны на диаграммах трех типов.

Первый тип диаграмм представляет профиль доменной печи, на котором (на том или другом горизонте) располагается координатная сетка. На профиле схематически нанесены линзы рудной сыпи с учетом распределения руды и их схода по направлению к фурменным очагам горна. При сходе наклон рудных линз постепенно меняется в соответствии с периферийным ссыпанием материалов в зону фурменных очагов горна. На засыпном аппарате показано количество рудной сыпи, поступившей в центральную часть печи.

Второй тип диаграмм в линейных координатах показывает зависимость содержания газа и температуры в том или ином удалении от стенки печи, причем первые (содержание газа и температуры) откладываются по ординате в процентах, а расстояние от стенки печи в миллиметрах по оси абсцисс, причем масштаб ординат по сравнению с масштабом абсцисс увеличен. Диаграммы при этом получаются вытянутыми в направлении ординат, что дает возможность рельефно выявить даже небольшие изменения в составе газов и позволяет сделать правильное суждение о характере распределения материалов.

На третьем типе диаграмм по оси абсцисс отложены площади колошника, а по оси ординат — состав газа или его температуры. Площадная диаграмма позволяет сделать правильное заключение о распределении материалов, так как в этой диаграмме учитывается абсолютное значение площадей, с которых взята проба газов. Площадные диаграммы дают наиболее точное представление о распределении материалов по сечению колошника. Кроме того, имеется возможность оценить полученное в данных условиях доменной плавки использование восстановительной способности, по сравнению с возможным для данных сортов руд, что характеризуется максимальным содержанием углекислоты на горизонте.

Характерно для плавки среднее содержание углекислоты на горизонте, которое по площадной диаграмме легко установить через подсчет площади кривой.

Проведя линию параллельно оси абсцисс на высоте максимального содержания углекислоты, будем иметь площадь, которая соответствует максимальной возможности использования восстановительной способности газа. Площадь действительной кривой будет меньше и будет характеризовать действительное использование этой восстановительной способности газа. Отношение площади, соответствующей действительному использованию восстановительной способности газа к площади, соответствующей максимальной возможности использования восстановительной способности в данных условиях, можно назвать коэффициентом использования восстановительной способности газа. При этом надо принимать во внимание не только значение в процентах коэффициента использования восстановительной способности газа, но одновременно и максимальное содержание углекислоты. Эти два критерия — максимальное содержание углекислоты по сечению печи и коэффициент использования восстановительной способности газа — могут служить надежной оценкой распределения материалов. Чем больше коэффициент восстановительной способности газа и чем выше максимальное содержание углекислоты в газе, тем лучше распределение материалов. Произведение коэффициента использования восстановительной способности газа на максимальное содержание углекислоты в газе даст среднее содержа-

¹ Исследование проводилось под руководством автора бригадой Уральского индустриального института в составе: доц. И. И. Рассказова, аспирантов П. Н. Исаева, Н. Г. Маханек, В. Т. Брагина, инженеров Каменева, Облеужова, Кобелькова и техника Бонларенко.

ние уголекислоты в газе на данном сечении печи, что является общей оценкой использования восстановительной способности колошниковых газов на пути от фурменных очагов горна до данного горизонта.

Анализы газов и температуры при исследовании брались на горизонте, расположенном примерно на 1,9 м ниже уровня засыпи, или на 5,45 м ниже уровня колошниковой площадки. Для забора проб газа и измерения температуры имелось три отверстия; отверстие № 1 было расположено над чугунной леткой и по оси траверсы; отверстие № 2 со смещением от оси чугунной летки на угол 40° , а отверстие № 3 с противоположной стороны чугунной летки также под траверсой засыпного аппарата. Такое расположение отверстий диктовалось местными условиями расположения сухих газоочистителей около доменной печи, кроме того, желанием выявить влияние чугунной летки и траверсы на распределение материалов, использование восстановительной способности и физического тепла колошниковых газов.

Отверстие № 2 являлось наиболее характерным для определения среднего состояния распределения материалов по сечению печи.

Методика исследования имела обычный характер. Забор проб газа производился неохлаждаемой трубкой, вводимой через отверстие вручную. Температуры измерялись железо-константановой термопарой, вводимой через трубку. Статическое давление газа замерялось трубкой Пито, вдвигаемой в печь через отверстие.

Пример первый. 7 августа 1939 г. доменная печь работала на смеси ауэрбаховской, воронцовской, высокогорской и гороблагодатской руды. Рудной сыпи в колошу, объемом $10,8 \text{ м}^3$, было дано 2200 кг. Расход руды составлял $1,63 \text{ т}$ и металлических добавок 48 кг/т чугуна. Нагрев дутья $620-700^\circ$.

Производительность доменной печи в этот день 160 т литейного чугуна, с содержанием кремния $1,39\%$ и марганца $0,50\%$. Время пребывания шихты в печи составляло $4,1$ часа. Коэффициент использования полезного объема равен $1,22 \text{ м}^3/\text{т}$. Расход древесного угля — $7,4 \text{ м}^3$, или $1,0 \text{ т/т}$ чугуна, расход нелетучего углерода — 700 кг/т чугуна.

При непродолжительном времени пребывания шихты в доменной печи ($4,1$ часа) работа с аппаратом Парри немедленно же сказалась на результатах распределения материалов, а следовательно, и на составе газов по сечению колошника доменной печи.

На фиг. 202, а приведен состав газа в отношении содержания уголекислоты из отверстия № 2, взятый 7 августа. Выклинивание рудной сыпи по направлению к оси доменной печи полностью подтверждается составом газа по ее сечению. Последнее имело место при засыпи аппаратом Парри, вследствие разницы между углом естественного откоса горючего и углом естественного откоса руды, а также затруднительности заполнения площади колошника, соответствующей проекции конуса на поверхности уровня засыпи.

На фиг. 202, б представлена та же кривая содержания уголекислоты на различном расстоянии от стенки печи и кривая статического давления газа в мм вод. ст. На периферии у стенки печи по кольцу шириной 500 мм имеет место максимальное содержание уголекислоты от 15 до $15,6\%$. Дальше по направлению к оси доменной печи идет резкое падение содержания уголекислоты, что соответствует уменьшению количества сыпи в рудной линзе по направлению к оси печи. На расстоянии от стенки печи в 1 м содержание уголекислоты падает до $8,5\%$, а у оси печи составляет всего 1% .

Таким образом выявляется определенная картина плохого использования восстановительной способности газа по сечению колошника при засыпном аппарате Парри.

На этой же диаграмме фиг. 202, б можно установить влияние, оказываемое распределением материалов на статическое давление газа в доменной печи. Из характера кривой видно, что здесь определенной закономерности нет. К оси печи наблюдается увеличение статического давления, но не такое отчетливое.

Чтобы оценить распределение материалов засыпным аппаратом Парри и его влияние на использование восстановительной способности газа, недостаточно иметь только диаграмму, составленную в линейных координатах, так как площади отдельных кольцевых поясов, с которых брались анализы газов, по направлению к оси доменной печи уменьшаются. Площадь кольца, шириной 250 мм , находящаяся около стенки печи, равняется $2,9 \text{ м}^2$, тогда как площадь второго кольца, рядом лежащего, такой же ширины, равна $2,5 \text{ м}^2$, площадь третьего кольца такой же ширины — $2,1 \text{ м}^2$, и т. д.

Кривая состава газа в отношении CO_2 по сечению колошника, выполненная в линейных координатах, утрирует неравномерность. Для более правильного представления следует пользоваться площадной диаграммой, предлагаемой нами, на которой по оси абсцисс откладываются площадь колошника в квадратных метрах с соответствующими площадями колец, с которых взят анализ газа или измерения температур, а по оси ординат состав газа или температура.

Кривая состава газа на верхнем горизонте, взятого из отверстия № 2 от 7 августа 1939 г.

приведена на фиг. 202, в в площадных координатах. Из кривой видно, что характер ее изменяется вследствие упомянутого выше значения площадей колец одной и той же ширины по направлению к оси доменной печи и делается более равномерным. Но все же и на этой кривой с учетом значения площадей выявляется рельефно картина неудовлетворительного использования восстановительной способности газа примерно на половине площади колошника. Чтобы правильно оценить использование восстановительной способности газа, нами предлагается принять во внимание максимальное содержание углекислоты, имевшее место на этом сечении печи, которое, очевидно, будет характеризовать при данных условиях ход доменной печи, время пребывания шихты, сырые материалы, работа горна и другие наиболее благоприятные возможности в отношении использования восстановительной способности газа.

Проф. А. Н. Похвисневый приводит возражения против использования максимального содержания углекислоты для оценки экономичности доменной плавки по причине того, что это содержание может быть или случайным явлением или в местах с низкой скоростью газа. Такие возражения не имеют под собой оснований. Исследования Кинни (фиг. 165, а, б, в) отчетливо показывают, что на расстоянии 0,74—1,5 м от стенки при достаточно высоких скоростях (30—40 м/сек) наблюдается максимальное содержание углекислоты (17%), тогда как при более низких скоростях у стенки печи (20 м/сек) наблюдается пониженное содержание углекислоты в 11% (по Похвисневу, здесь нужно было ждать более высокого содержания углекислоты, чем 17%).

Наши исследования режима засыпи Парри показывают (фиг. 202, а б, в, г, е), что у стенки печи, где скорости повышенные, наблюдаются максимальные содержания углекислоты. (По Похвисневу, здесь должны были быть низкие содержания углекислоты). Таким образом содержание углекислоты не является обратно пропорциональным скорости и может приниматься для оценки использования восстановительной способности газа. Сотни таких примеров — не случайность.

В приведенном случае на фиг. 202, в максимальное содержание углекислоты, как уже указывалось, было 15,6%, а коэффициент использования восстановительной способности газа 74%. Среднее содержание углекислоты над сечением колошника составляет $15,6 \cdot 0,74 = 11,6\%$. Как видно, и коэффициент использования восстановительной способности газа и среднее содержание углекислоты низкое, что указывает на неудовлетворительное распределение материалов аппаратом Парри.

Пример второй. 9 августа 1939 г. доменная печь работала на смеси ауэрбаховских, воронцовских, высокогорских и гороблагодатских руд. Вес рудной сыпи в колошу объемом 10,8 м³ равнялся 2200 кг. Расход руды составлял 1,52 т, а скрапа 152 кг на тонну чугуна.

Производительность доменной печи в этот день была 146 т литейного чугуна, с содержанием кремния 1,74% и марганца 0,83%. Время пребывания шихты в печи составляло 4,4 часа. Коэффициент использования полезного объема был равен 1,33 м³/т.

Расход древесного угля за этот день равнялся 7,65 м³, или 1,03 т/т чугуна. Расход нелетучего углерода составлял 721 кг/т чугуна.

На фиг. 202, г дан состав газа в отношении содержания углекислоты при работе в засыпном аппарате Парри от 9 августа 1939 г. из отверстия № 3, находящегося под траверсой засыпного аппарата. Характер кривой тот же самый, что и в предыдущих случаях, только у оси доменной печи наблюдается некоторое повышение содержания углекислоты, что может быть объяснено попаданием сюда небольшого количества рудной сыпи или ответвлением струй газов из столба шихты с рудными линзами.

Максимальное содержание углекислоты составляет 14,3%. Коэффициент использования восстановительной способности газа равен 74%, а средний процент содержания углекислоты равен 10,6%.

Как видно из этой кривой, при засыпном аппарате Парри имеет место неудовлетворительное распределение материалов.

Пример третий. 10 августа 1939 г. доменная печь работала на смеси ауэрбаховской, воронцовской, высокогорской и гороблагодатской руды, которая поступала в количестве 2200 кг в колошу объемом 10,8 м³. Расход руды составлял 1,46 т, а расход металлических добавок 52 кг/т чугуна.

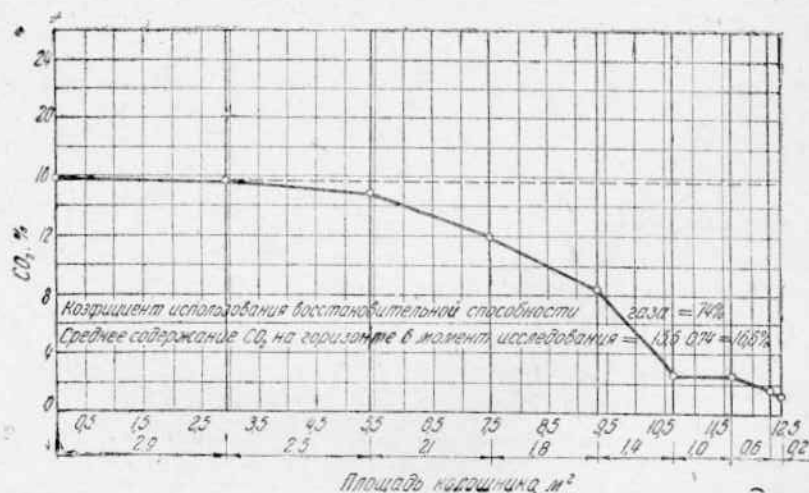
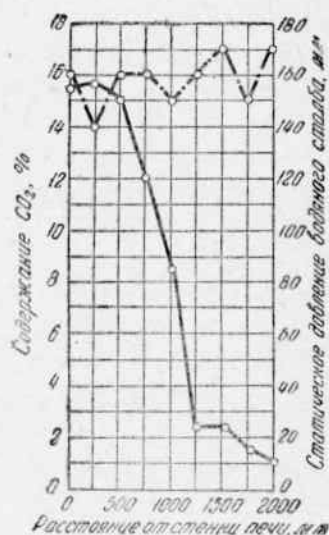
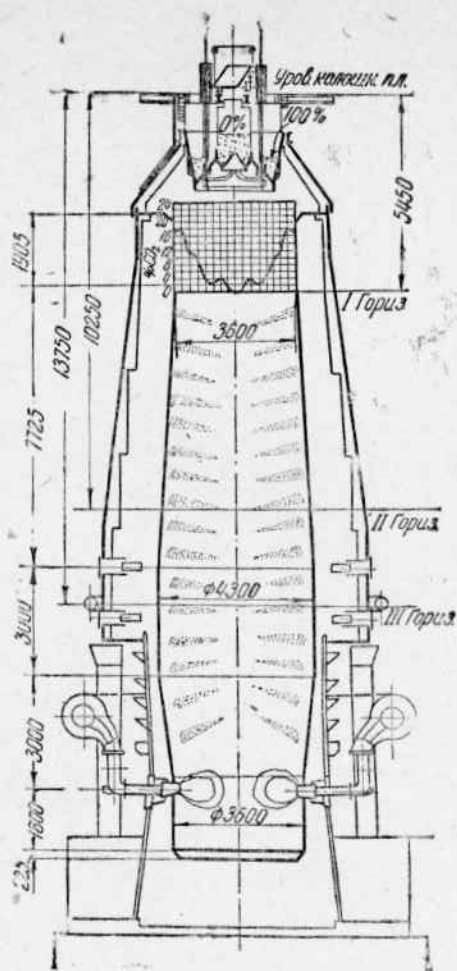
Нагрев дутья 760°, а производительность доменной печи 161 т литейного чугуна, с содержанием кремния 1,55% и марганца 0,30%. Время пребывания шихты в печи равнялось 4,2 часа. Коэффициент использования полезного объема 1,21 м³/т.

Расход древесного угля за этот день был равен 7,15 м³, или 0,97 т/т чугуна. Расход нелетучего углерода составлял 676 кг/т чугуна.

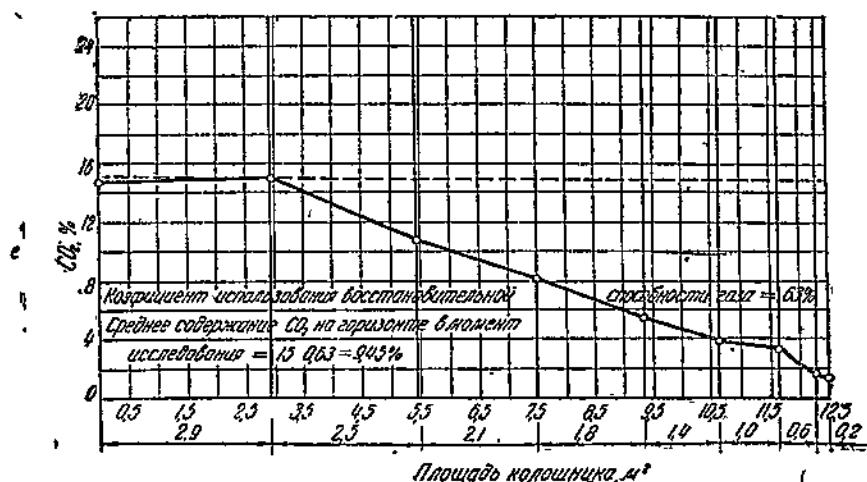
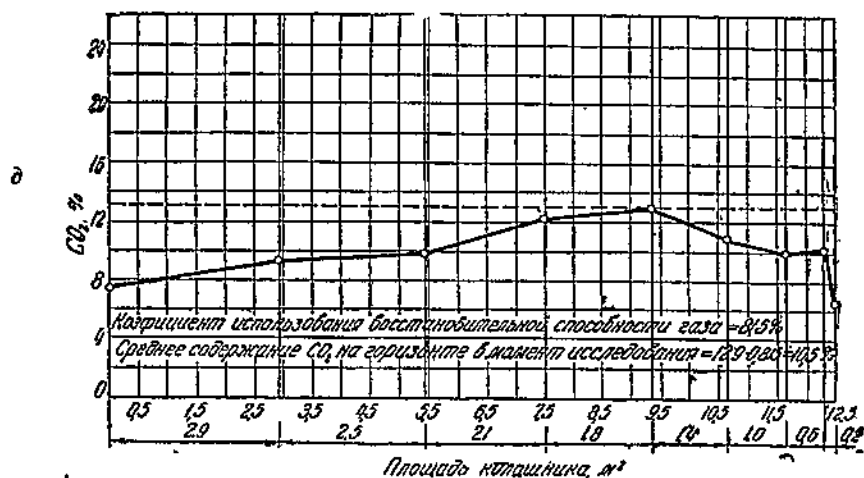
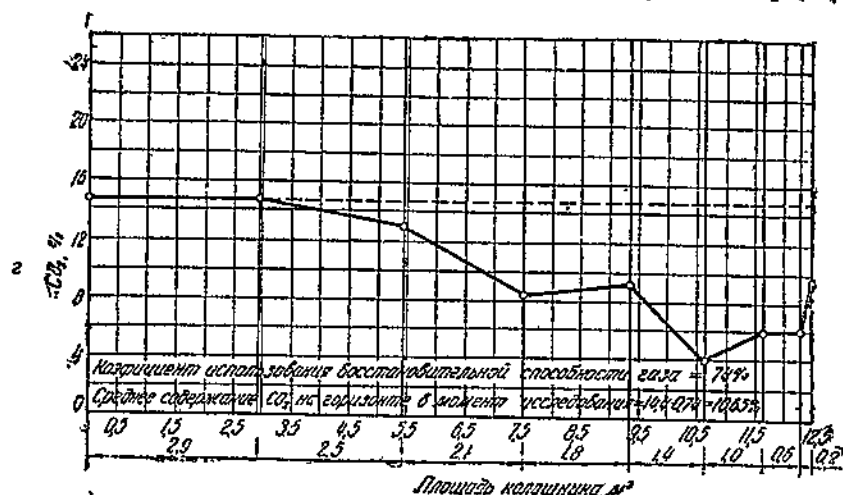
При работе доменной печи № 3 10 августа 1939 г. имел место при резком опускании уровня засыпи значительный отход трещин рудной сыпи от стенки доменной печи, что вызвало периферийный ход газов и сильное снижение содержания углекислоты в газе.

На фиг. 202, д приведен состав углекислоты по сечению печи из отверстия № 3 10 августа 1939 г. при ходе доменной печи с опущенной сыпью.

Коэффициент использования восстановительной способности газа на этом сечении при опущенном уровне засыпи получился 81,5%, максимальное содержание углекислоты было 12,9%, а среднее содержание углекислоты по сечению равно 10,5%. Здесь мы видим, что при высоком коэффициенте использования восстановительной способности газа 81,5% наблюдается низкий средний процент содержания углекислоты по сечению, что является критерием для оценки использования восстановительной способности газа и указывает на неудовлетворительное распределение материалов засыпным аппаратом Парри при сильно опущенном уровне



Фиг. 202. Диаграммы анализа газа из отверстий № 2 и 3: при засыпи аппаратом Парри: а — разрез печи и анализ от 7 августа 1939 г. из отверстия № 2; б — анализ газа от 7 августа 1939 г. из отверстия № 2 в линейных координатах; в — анализ газа от 7 августа 1939 г. из отверстия № 2 в площадных координатах;



Фиг. 202 г — анализ газа от 9 августа 1939 г. из отверстия № 3 в площадных координатах; б — анализ газа от 10 августа 1939 г. из отверстия № 3 в площадных координатах; в — анализ газа на печи Серовского завода при засыпи воронкой Парри (за 6 исследований) в площадных координатах.

засыпи. Указанное увеличивает содержание углекислоты в центральной части печи, но уменьшает ее на периферии, характеризуя этим неудовлетворительное распределение материалов по сечению колошника.

Аналогичные данные были получены в целом ряде примеров исследований, которые здесь не приводятся ввиду полной ясности картины распределения рудной сыпи. Однако испытать этот прием засыпи в течение длительного времени не представилось возможным из-за большого перерасхода горючего при работе на аппарате с засыпью Парри, что было связано с большими расходами.

Данные о составе газа по сечению печи являются весьма ценным материалом для суждения о процессе плавки и контакте газа со столбом шихты в различные моменты работы доменной печи. При большом многообразии в обстановке ведения доменной печи и условий доменной плавки, состав газа по сечению печи непрерывно меняется. В результате этих изменений при исследовании, точки измерения на диаграмме довольно сильно рассеиваются и поведение некоторых средних кривых за время исследования сильно уменьшает рельефность последних, а следовательно, затрудняет и выявление истинной стороны дела в конкретной обстановке. Данные каждого исследования, проведенного на печи, должны быть непременно связаны с работой ее в конкретной обстановке. Поэтому для точного суждения о характере контакта газов со столбом шихты в доменной печи необходимо рассматривать кривые исследования в отдельности.

Средние кривые отражают истинное положение работы печи в меньшей степени.

Содержание углекислоты по сечению колошника на верхнем горизонте в среднем за время исследования работы доменной печи № 3 при засыпном аппарате Парри приведено на фиг. 202, е в площадных диаграммах. Как видно из результатов максимальное содержание углекислоты было 15,0%, минимальное содержание углекислоты у оси печи 1,3%, а коэффициент восстановительной способности газа был равен 63% при среднем содержании углекислоты в газе на этом сечении печи 9,45%.

Такие результаты, в среднем за время исследования позволяют сделать вывод о совершенно неудовлетворительном распределении материалов засыпи аппаратом Парри при диаметре колошника в 3,6 м на древесноугольной доменной печи.

Неудовлетворительное распределение материалов, даваемое засыпным аппаратом Парри, привело к повышенному расходу горючего на 1 т литейного чугуна до 8,0 м³ или 1,08 т.

Расход нелетучего углерода был резко повышен и составлял 756 кг на тонну чугуна. Расход тепла на тонну чугуна выражался цифрой 3 259 400 калорий. Неудовлетворительное распределение материалов, даваемое засыпным аппаратом, таким образом, приводит к неэкономичной работе доменной печи, вследствие большого перерасхода горючего на весовую единицу чугуна. При большой стоимости древесного угля, 180 руб. на тонну, работа доменной печи с засыпным аппаратом Парри приносит крупные убытки по сравнению с работой при засыпном аппарате с двойной засыпью. Перерасход горючего может быть оценен, по крайней мере, в 1,0—1,5 м³, или 150—200 кг нелетучего углерода на тонну чугуна, что удорожает стоимость тонны чугуна на 26—40 руб.

По результатам исследования можно сделать вывод, что нормальный профиль доменной печи (диаметр горна равен диаметру колошника, при угле наклона шахты 87°30') совершенно исключает периферийный ход горячих и не работающих на восстановление газов, что в свою очередь дает основание судить о том, что расширение колошника современных бутылкообразных доменных печей устранил их органический недостаток, заключающийся в громадном развитии периферийного потока указанных избыточно нагретых и не работающих на восстановление газов.

§ 18. Двухкольцевая засыпь с недогрузкой внутреннего кольца

Работа доменной печи № 3 в условиях засыпи с недогрузкой внутреннего кольца довольно часто имела место за время исследования. Как и следовало

предполагать, работа с недогрузкой рудной сыпью внутреннего кольца оказалась более экономичной, чем с воронкой Парри, так как в этом случае в большей степени используется восстановительная способность центрального потока газов, что не имеет места при работе доменной печи с аппаратом Парри.

На верхнем горизонте доменной печи, начиная от фурменного очага горна и кончая горизонтом исследования, дается результативно работа газов по восстановлению рудной сыпи в столбе шихты.

Результат исследования можно рассматривать лишь как средний ориентировочный материал для суждения о состоянии столба шихты в доменной печи, распределения в нем сыпи в данный момент и контакте его с газовым потоком.

Недогрузка внутреннего кольца может получиться в результате подачи недостаточного количества руды в центральную воронку засыпного аппарата. Количество руды, подаваемой в центральную воронку засыпного аппарата для получения оптимальной засыпи, не является постоянным и зависит от кусковатости руды, нагрева горна и т. д. Кусковатые руды потребуют подачи большого процента рудной сыпи во внутреннее кольцо колошника, а пылеватые руды меньшего. Если нагрев горна недостаточно высок, то доменную печь целесообразнее вести с минимальной подачей рудной сыпи в центральную часть доменной печи. Таким образом в некоторых случаях работа печи с недогрузкой внутреннего кольца может явиться и необходимостью.

Однако, как показывает анализ работы доменной печи № 3, недогруз внутреннего кольца имел место в абсолютном большинстве случаев не по причине неудовлетворительного нагрева горна и работа получалась менее экономичной, чем при подаче оптимального количества рудной сыпи.

Ниже приводятся материалы исследований, проведенных при работе доменной печи с недогрузом рудной сыпью внутреннего кольца.

Пример первый. 22 июня 1939 г. доменная печь работала на сырых бакальских рудах с угольной колошей объемом $10,8 \text{ м}^3$. Рудной сыпи было 3100 кг . Во внутреннее кольцо шло $19,3\%$. Нагрев дутья составлял $500-600^\circ$. Производительность доменной печи равнялась 155 т , что объяснялось простоями. Время пребывания шихты составляло $3,9$ часа. Коэффициент использования полезного объема равнялся $1,26 \text{ м}^3/\text{т}$.

Расход древесного угля за эти сутки был $7,28 \text{ м}^3$, или $0,98$ на т чугуна. Расход нелетучего углерода составлял 660 кг/т чугуна. Расход руды был равен $1,90 \text{ т/т}$ чугуна. Металлических добавок в шихту не поступало.

Чугун выплавлялся с содержанием кремния $0,82\%$ и марганца $1,64\%$.

На фиг. 203, а, б и в приведен состав газов по сечению колошника в отношении содержания углекислоты из отверстия № 3, расположенного над леткой. Анализ газа показывает, что содержание углекислоты на периферии было максимальным и доходило до $18,1\%$. Высокое содержание углекислоты держалось и на расстоянии $0,5 \text{ м}$ от стенки печи, где оно было равным 17% , дальше содержание углекислоты упало до 7% , на расстоянии до 25 м , после чего начало возрастать.

Коэффициент использования восстановительной способности газа равняется 77% , а среднее содержание углекислоты в газе на этом горизонте $13,9\%$. Высокое содержание углекислоты у стенки доменной печи указывает на большие возможности в отношении использования восстановительной способности газа. Однако количество руды, подаваемой во внутреннее кольцо являлось недостаточным, что привело к неудовлетворительному использованию восстановительной способности центрального потока газов и сказалось на экономичности доменной плавки.

Пример второй. 17 июля 1939 г. доменная печь работала с колошей древесного угля $10,8 \text{ м}^3$ на смеси ауэрбаховских и высокогорских руд, причем в этот день ауэрбаховские руды шли в колошу в количестве от 1800 до 1950 кг и направлялись на периферию, а высокогорский полумарит в количестве $900-950 \text{ кг}$ во внутреннее кольцо. Количество руд во внутреннее кольцо составляло от $31,5$ до $34,5\%$.

Нагрев дутья был 554° , давление дутья — $0,22 \text{ ат}$. Производительность доменной печи равнялась 166 т , а время пребывания шихты в ней — 4 часа. Коэффициент использования полезного объема печи равнялся $1,17 \text{ м}^3/\text{т}$.

На одну тонну чугуна расход древесного угля составил $7,2 \text{ м}^3$, или $0,97 \text{ т}$, нелетучего углерода 665 кг , металлических добавок в шихту 61 кг .

Чугун выплавлялся горячий литейный с содержанием кремния $1,73\%$ и марганца $0,73\%$. Расход руды вследствие высокого содержания железа был невелик и составил всего $1,63 \text{ т/т}$.

На фиг. 203, г приведены результаты исследования в отношении содержания углекислоты по сечению колошника. Содержание углекислоты у стенки печи было максимальным и составляло $12,9\%$, затем оно понижалось по направлению к оси печи на расстояние 1000 мм от стенки и потом вновь поднималось по направлению к оси печи.

Коэффициент использования восстановительной способности газа при максимальном содержании углекислоты в $12,9\%$ составил 76% , а среднее содержание в момент исследования — $9,8\%$.

Данные исследования показывают, что, несмотря на то, что количество руды, направляемой во внутреннее кольцо, составляло 31,5%, оно все же было недостаточно для полного использования восстановительной способности центрального потока газа, а поэтому расход горючего был повышенный.

Пример третий. 21 июля 1939 г. доменная печь работала на высокогорском мартите, который шел на периферию в количестве 1800 кг, и воронцовской руде, которая шла во внутреннее кольцо в количестве 850 кг, составлявших 32% всей рудной сыпи. Общее количество рудной сыпи в колошу объемом 10,8 м³ составляло 2650 кг.

Производительность доменной печи 162 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,29% и марганца 0,93%. Нагрев дутья был 616°. Время пребывания шихты в печи 4,5 часа, а коэффициент использования полезного объема печи — 1,2 м³/т.

На тонну чугуна расход древесного угля за этот день составил 6,64 м³, или 0,89 т, нелетучего углерода 612 кг, руды 1,67 т, металлических добавок 100 кг в колошу, или 61 кг на тонну чугуна. Количество колош в сутки 99.

На фиг. 203, д приведен состав газа в отношении содержания углекислоты из отверстия № 3. Как видно из диаграммы, содержание углекислоты, максимальное на периферии и равное 12,2%, падает по направлению к оси печи, причем кривая не имеет перегиба, что указывает на отсутствие в этом случае обособленности периферийного и внутреннего колец. Характер кривой показывает, что рудной сыпи в центральную часть давалось недостаточно, вследствие чего использование восстановительной способности газов центрального потока было пониженным. Коэффициент использования восстановительной способности газа был 89% при максимальном содержании углекислоты в газе 12,2% и при среднем содержании углекислоты в газе в этом горизонте в момент исследования — 10,9%.

Пример четвертый. 22 июля 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию высокогорского полумаргита в количестве 1900 кг. Во внутреннее кольцо шла смесь воронцовской, ауэрбаховской руды в количестве 900 кг, что составило 32,14% от общего веса рудной сыпи 2800 кг в колошу, объемом 10,8 м³.

Нагрев дутья доведен до 500—550°. С давлением до 0,3 ат, температура колошника до 150°. Производительность доменной печи 153 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,55% и марганца 1,0%. Время пребывания шихты в печи — 3,8 часа, а коэффициент использования полезного объема 1,23 м³/т.

На 1 т чугуна расход древесного угля составил 8,17 м³, или 1,09 т, нелетучего углерода 752 кг, руды 1,83 т, а скрапа и стружки — 94 кг.

На фиг. 203, е видно, что максимальное содержание углекислоты было у стенки печи и равнялось 11,9%, по направлению оси доменной печи содержание углекислоты понизилось и дошло около оси печи до 6,1—6,8%. При упомянутом максимальном содержании углекислоты коэффициент использования восстановительной способности газа равнялся 86,5%, что указывает на довольно равномерный состав по сечению печи, но так как среднее содержание на горизонте в момент исследования было всего 10,3%, то это говорит за пониженную экономичность доменной плавки вследствие недостаточной подачи рудной сыпи во внутреннее кольцо.

Пример пятый. 24 июля 1939 г. на периферию доменной печи шла смесь высокогорской и гороблагодатской руды в количестве 1800 кг в колошу объемом 10,8 м³. В центральную часть печи шла ауэрбаховская руда в количестве 850 кг в колошу, что составило 32,1%. Общий вес рудной сыпи 2650 кг.

Нагрев дутья до 634°. Производительность доменной печи 166 т литейного чугуна, с содержанием кремния 1,52% и марганца 0,95%. Время пребывания шихты 3,9 часа, а коэффициент использования полезного объема печи 1,17 м³/т.

На одну тонну чугуна расход руды составил 1,90 т, металлических добавок 69 кг, древесного угля 7,58 м³ или 1,02 т, нелетучего углерода 698 кг.

На фиг. 203, ж приведены результаты исследования из отверстия № 2. Содержание углекислоты на периферии достигает 16,5%, по направлению к оси падает до 8,4% на расстоянии 1,0 м, затем содержание углекислоты возрастает по направлению к оси до 11,8% и у самой оси печи вновь падает до 6,8%. При максимальном содержании углекислоты в 16,5% коэффициент использования восстановительной способности газа получается равным 76%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 12,5%.

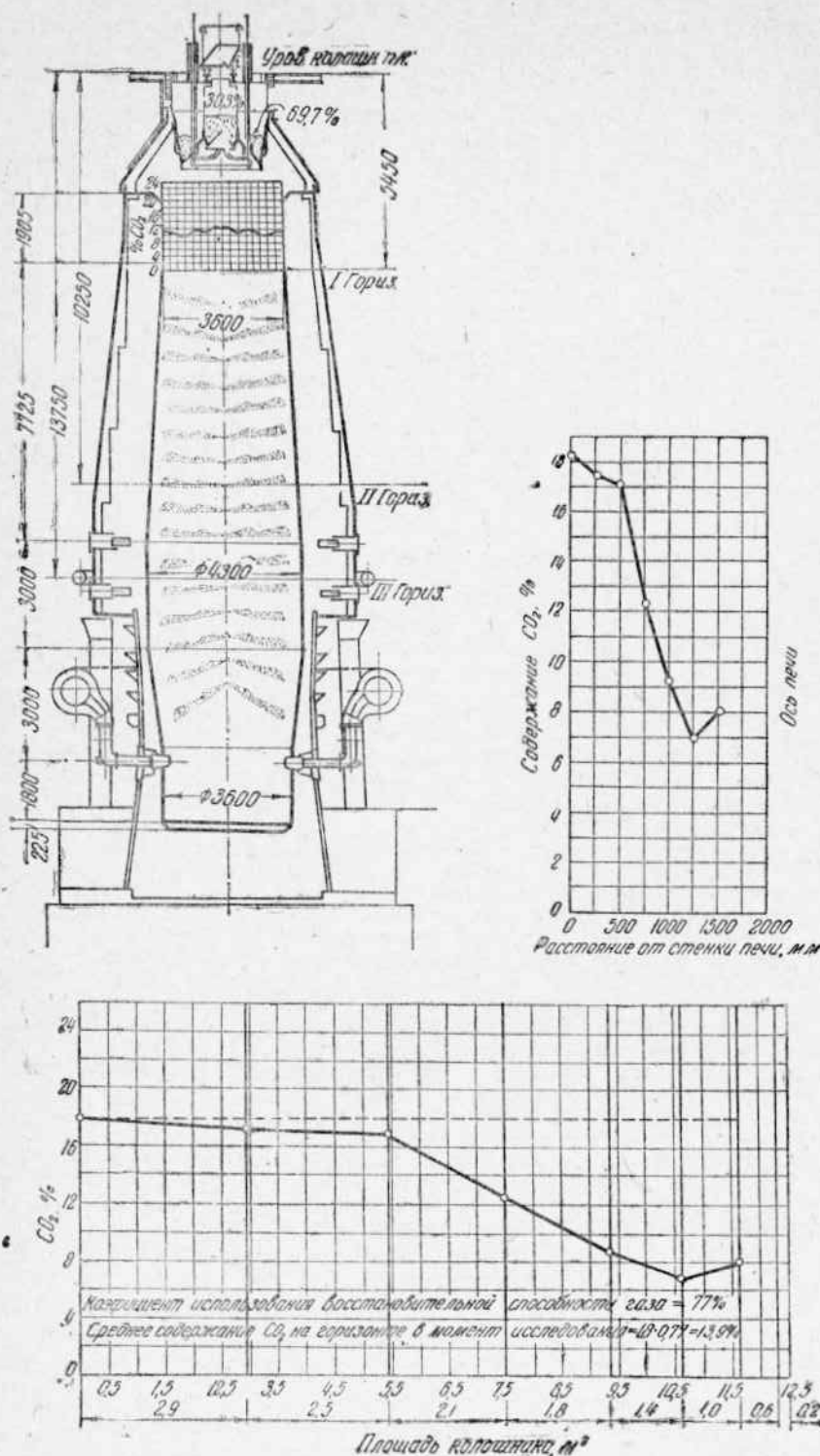
Во всех проведенных исследованиях из отверстия № 2 за 24 июля 1939 г. имеет место перегиб кривой содержания углекислоты, который указывает на обособленность периферийного и внутреннего колец рудной сыпи.

В тот же день были проведены еще два исследования газов из отв. № 3, расположенного под траверсой засыпного аппарата. Наличие траверсы несколько сказывается на устранении обособленности периферийного и внутреннего колец рудной сыпи, что видно из данных исследования в отношении содержания углекислоты.

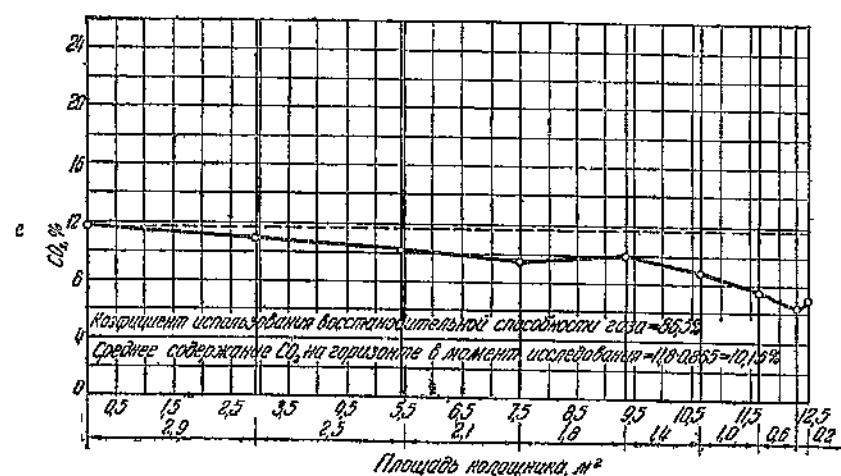
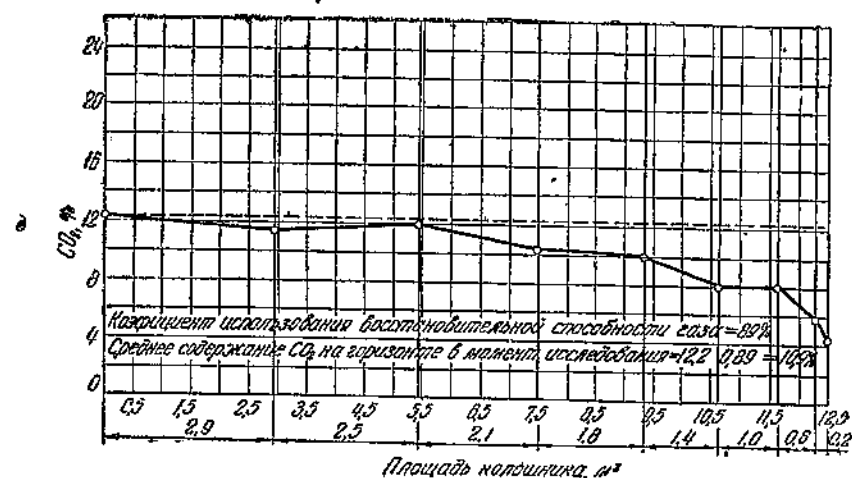
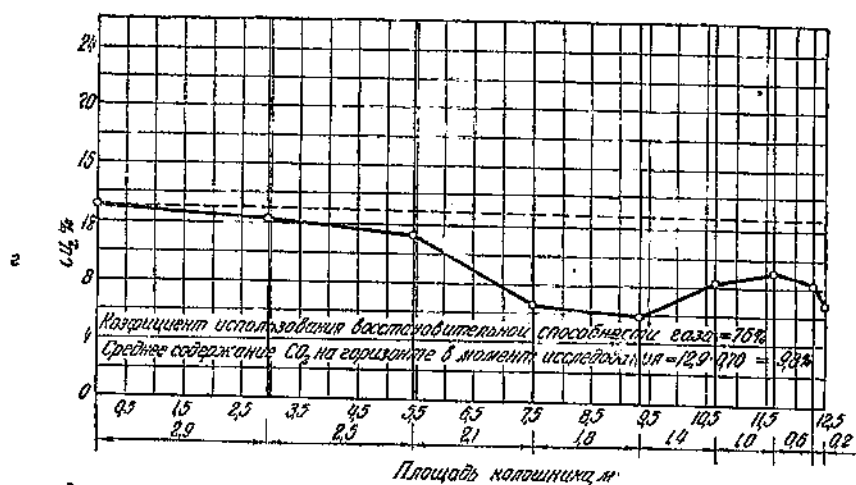
На фиг. 203, з приведено содержание углекислоты в газе. Оно является максимальным на периферии, где достигает 13,2%, по направлению к оси печи содержание углекислоты падает по волнистой кривой, доходя у оси печи до 1,3%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа равнялся 86,7%, среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования — 11,4%.

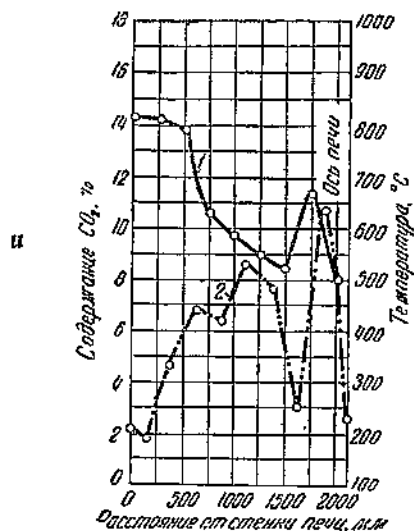
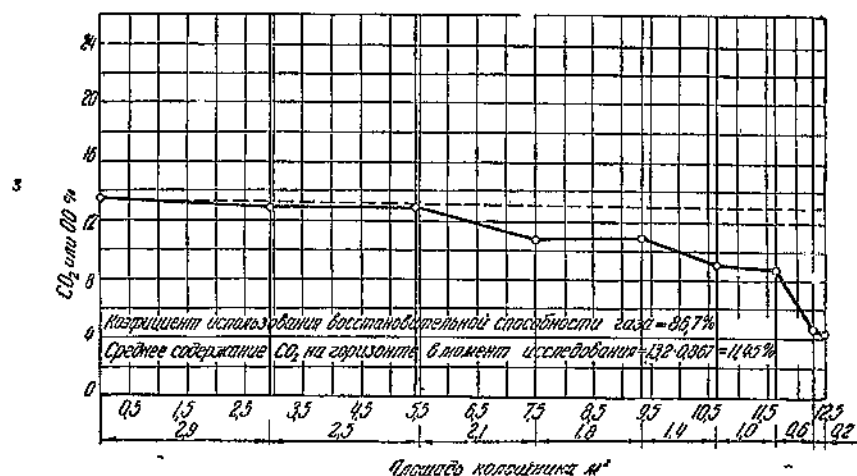
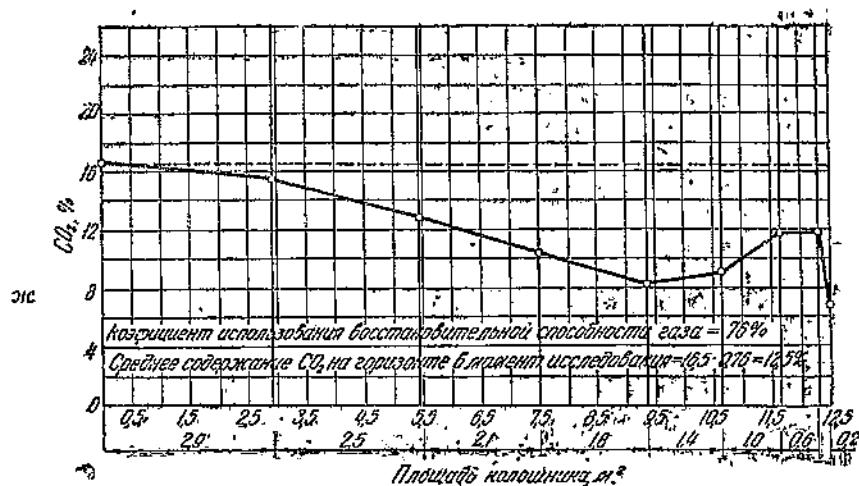
Как видно из результатов исследования, обособленность периферийного и внутреннего колец здесь исчезает. Пониженное содержание углекислоты по сравнению с данными исследования из отверстия № 2 объясняется тем, что под траверсой количество рудной сыпи меньше чем в других частях печи.



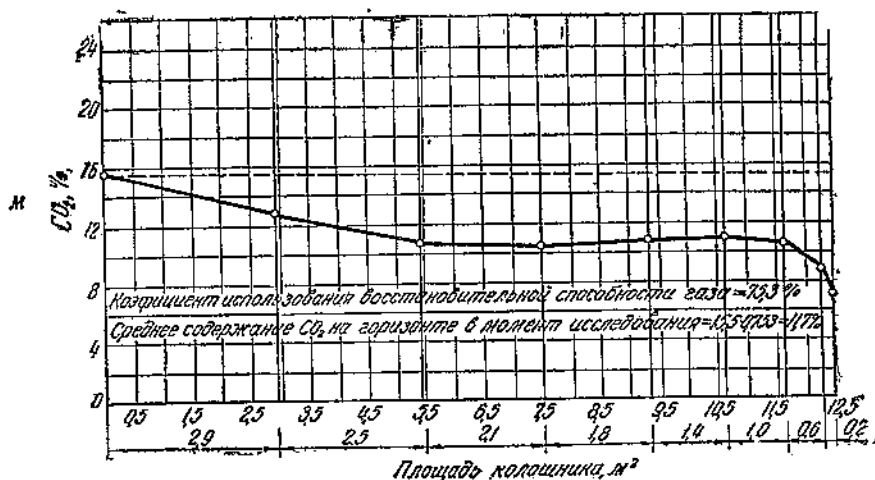
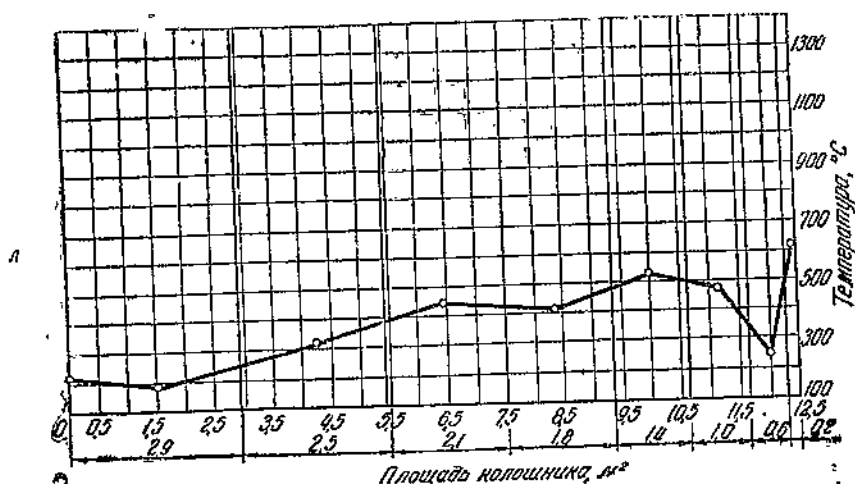
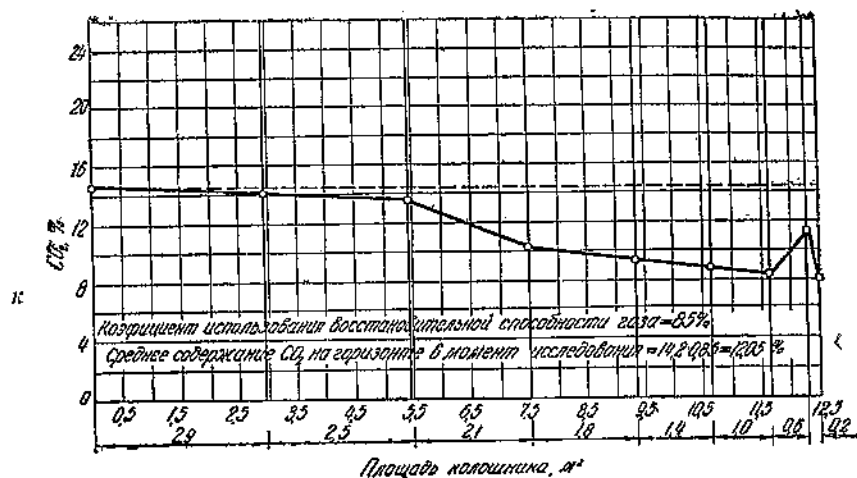
Фиг. 203. Диаграммы анализа и температуры на верхнем горизонте из отверстий № 2 и 3 при двухкольцевой засыпи с недогрузом внутреннего кольца: а — разрез печи и анализ газа из отв. № 3 от 22 июня 1939 г. б — состав газа из отв. № 3 от 22 июня 1939 г. в линейных координатах; в — состав газа из отв. № 3 от 22 июня 1939 г. в площадных координатах;



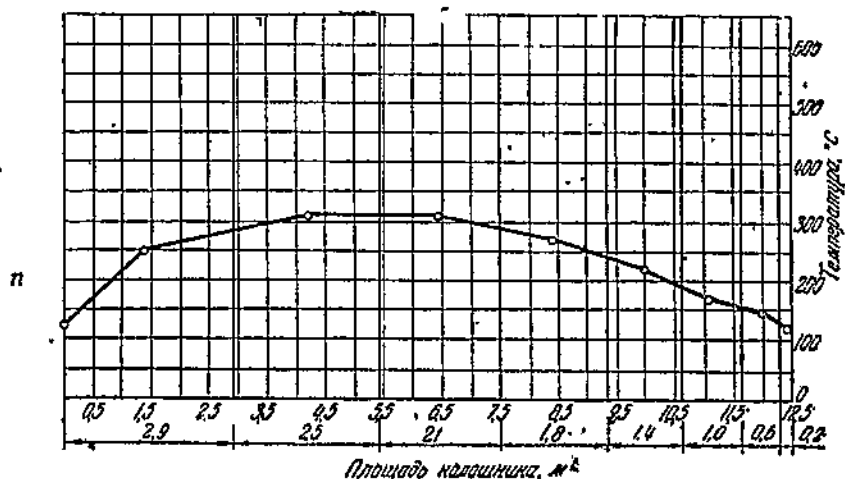
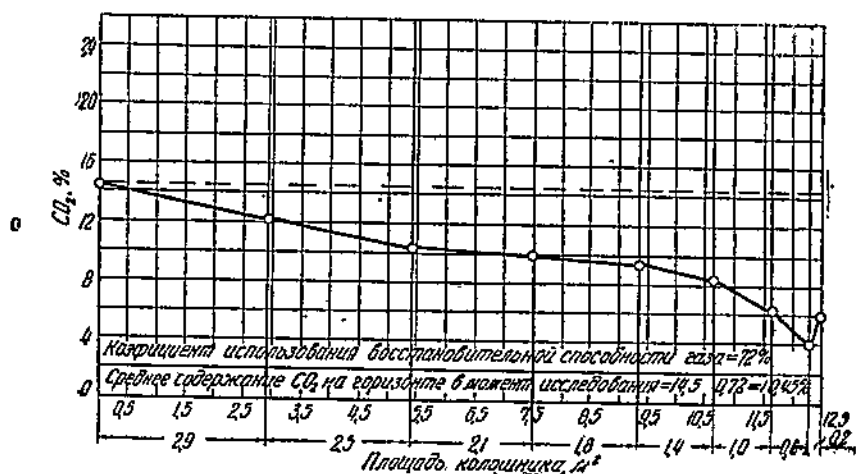
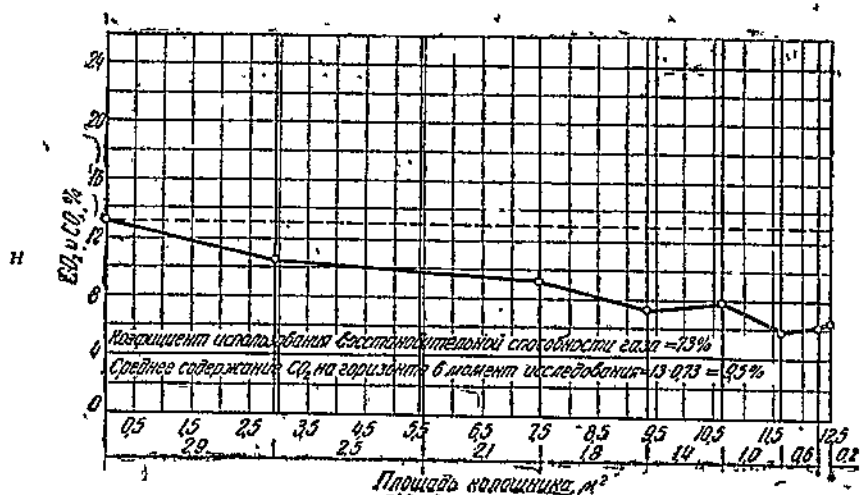
Фиг. 203: а — состав газа из отверстия № 3 от 17 июля 1939 г.; б — состав газа из отверстия № 3 от 21 июля 1939 г.; в — состав газа из отверстия № 3 от 22 июля 1939 г.;



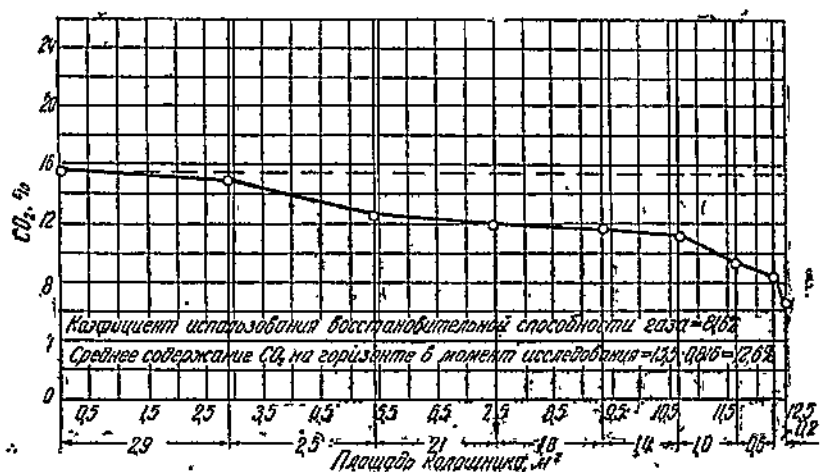
Фиг. 203: жс — состав газа из отверстия № 2 от 24 июля 1939 г.;
 з — состав газа из отверстия № 3 от 24 июля 1939 г.; и — состав газа и
 температуры из отверстия № 2 от 30 июля 1939 г.;



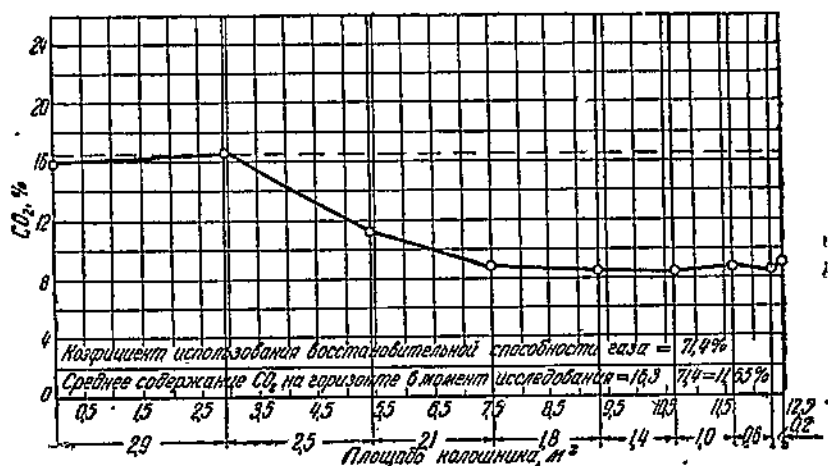
Фиг. 203: к — состав газа из отверстия № 2 от 30 июля 1939 г.; л — температура из отверстия № 2 от 30 июля 1939 г.; ж — состав газа из отверстия № 2 от 3 августа 1939 г.;



Фиг. 203: н — состав газа из отверстия № 3 от 15 августа 1939 г.; о — состав газа из отверстия № 3 от 19 августа 1939 г.; п — температура, измеренная через отверстие № 3 от 19 августа 1933 г.;



p



c

Фиг. 203: p — состав газа из отверстия № 2 от 25 августа 1939 г.;
c — состав газа из отверстия № 2 от 26 августа 1939 г.

Пример шестой. 30 июля 1939 г. на периферию шла смесь высокогорских и гороблагодатских руд в количестве примерно 30%, а остальные 70% — смесь ауэрбаховских и воронцовских руд. Всего шла на периферию 1800 кг в колошу. Во внутреннее кольцо шла смесь ауэрбаховских и воронцовских руд в количестве 800 кг в колошу, что составило 30,7% от общего количества рудной сыпи, равного 2600 кг. Нагрев дутья 700°. Производительность доменной печи — 162 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,66% и марганца 0,72%. Время пребывания шихты в печи равнялось 4,2 часа, а коэффициент использования полезного объема был равен 1,20 м³/т. Металлических добавок в шихту не давалось.

На тонну чугуна расход руды составлял 1,62 т древесного угля 7,25 м³, или 0,97 т, нелетучего углерода 678 кг.

На фиг. 203, и приведены состав и температура газа по сечению колошника из отверстия № 2.

На фиг. 203, к дана диаграмма в площадных координатах состава газа в отношении углекислоты, а на фиг. 203, л — температуры.

Из приведенных диаграмм видно, что содержание углекислоты у стенки печи составляет 14,3% и является максимальным. Около стенки печи наблюдается минимальная температура порядка 200°. По направлению к оси доменной печи содержание углекислоты падает и на расстоянии 1,5 м равняется 8,5%. Одновременно с этим температура повышается и на расстоянии 1,25 м от стенки печи достигает 540°. В дальнейшем содержание углекислоты повышается, на расстоянии 1,75 м оно достигает 11,3% и вновь падает, приближаясь к оси доменной печи, к 8%.

Повышению содержания углекислоты в газе точно соответствует падение температуры до 250°. У оси печи температура поднимается вновь до 640°. На приведенной диаграмме рельефно выывается, что максимальное содержание углекислоты в газе соответствует и минимальной температуре. Понижение содержания углекислоты в газе сопровождается и понижением температуры. Таким образом использование восстановительной способности газа почти точно соответствует использованию его физического тепла.

Коэффициент использования восстановительной способности газа равняется 85% при максимальном содержании углекислоты в газе 14,3% и при среднем содержании углекислоты в газе на горизонте в момент исследований 12,05%.

Пример седьмой. 3 августа 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию гороблагодатских мытых руд и полумартитов в количестве от 2610 до 2830 кг. Во внутреннее кольцо шла ауэрбаховская кусковая руда в размере 1120—1140 кг, составляющих 23,0—30,4% от общего количества рудной сыпи 3750—4000 кг на колошу древесного угля объемом 12 коробок, или 16,2 м³.

Производительность доменной печи равнялась 151 т литейного чугуна, с содержанием кремния 1,25% и марганца 0,81%. Время пребывания шихты в доменной печи составляло 4,1 часа. Коэффициент использования полезного объема печи был равен 1,29 м³/т.

На тонну чугуна расход древесного угля составлял 7,92 м³, или 1,05 т, нелетучего углерода 728 кг, руды 2,3 т, а металлических добавок в шихту 43 кг. Температура дутья равнялась 660° С. Руда была очень бедная по содержанию железа, на что указывает высокий ее расход.

На фиг. 203, м приведен состав газа по сечению колошника в отношении углекислоты, что представляет особый интерес, так как доменная печь работала на колоше, увеличенной до полуторного размера. Характер кривой содержания углекислоты является типичным для случая работы с недозагружкой рудной сыпью внутреннего кольца. Максимальное содержание углекислоты, равное 15,5% у стенки печи, снижается до 11% уже на расстоянии 500 мм, дальше кривая содержания углекислоты идет примерно на одном уровне до расстояния 1,5 м от стенки печи и затем снижается к оси печи до 7%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа равен 75,3%, что вместе с пониженным средним содержанием углекислоты равным всего 11,7%, указывает на лучшие возможности в отношении использования восстановительной способности и физического тепла газов.

Температура колошника была не особенно высокой и составляла всего 250° С.

Чтобы улучшить использование восстановительной способности и физического тепла газового потока в центральной части печи, нужно было увеличить при большой колоше подачу рудной сыпи во внутреннее кольцо. Без этого мероприятия расход горючего был выше, чем при работе доменной печи на меньшей колоше.

Кривые содержания углекислоты при работе на большой колоше указывают на исчезновение обособленности периферийного и внутреннего колец рудной сыпи. Однако вследствие того, что во внутреннее кольцо подавалось недостаточное количество руды, использование восстановительной способности центрального потока газов было неполным, что и привело при увеличении колош к повышенному расходу горючего.

Перерасход горючего за 3 августа в значительной степени объясняется также и тем, что весь этот день доменная печь работала при опущенном уровне засыпи, за время с 3 до 13 часов уровень засыпи был опущен ниже 5 м от нормального. Значительную часть времени засыпь была опущена на 2 м от нормального уровня. Указанное обстоятельство не могло не сказаться на повышении расхода горючего.

Пример восьмой. 15 августа 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию ауэрбаховских и воронцовских руд в количестве 1900 кг, а во внутреннее кольцо тех же руд

в количестве 850 кг, что составило 30,9% от общего веса рудной сыпи 270 кг в колошу древесного угля объемом 10,8 м³.

Нагрев дутья был 700°. Производительность доменной печи в этот день была весьма высокой и достигала 209 т валкового чугуна с содержанием кремния 0,71% и марганца 0,33%. Коэффициент использования полезного объема печи равнялся 0,946 м³/т. Время пребывания шихты в печи — 4,1 часа.

На тонну чугуна расход руды составлял 2,47 т, металлических добавок 63 кг, древесного угля всего 5,92 м³, или 0,77 т, нелетучего углерода 547 кг.

На фиг. 203, и представлен состав газа, из которого видно, что максимальное содержание углекислоты было у стенки печи. Обособленности периферийного и внутреннего колец рудной сыпи не наблюдалось. Содержание углекислоты от стенки печи по направлению к оси печи падало, доходя до 6%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа был невысок и составлял 73%. Среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования равно 9,5%.

Характер кривой состава газа указывает на недостаток рудной сыпи во внутреннем кольце, что при хороших результатах работы в отношении расхода горючего указывает на возможность дальнейшего снижения расхода его при увеличении подачи рудной сыпи во внутреннее кольцо.

Пример девятый. 19 августа 1939 г. доменная печь работала на колоше 10,8 м³ древесного угля. На периферию поступала смесь аузбаховских и воронцовских руд в количестве 1900 кг, а во внутреннее кольцо — смесь тех же руд в количестве 900 кг, составляющих 32,1% от общего веса рудной сыпи в колошу 2800 кг.

Нагрев дутья был довольно высок — 710° С. Производительность доменной печи составляла 185 т в сутки передельного чугуна с содержанием кремния 0,48% и марганца 1,26%. Время пребывания шихты равнялось 4 часам, а использование полезного объема печи — 1,05 м³/т.

На тонну чугуна расход руды составлял 2,31 т, металлических добавок 52 кг, древесного угля 6,52 м³ или 0,88 т, нелетучего углерода 600 кг.

На фиг. 203, о приведен состав углекислоты по сечению колошника на этом горизонте. Из кривой видно, что содержание углекислоты у стенки является максимальным и равно 14,2%, по направлению к оси доменной печи оно постепенно падает, доходя у центра внутреннего кольца рудной сыпи до 4,0%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа небольшой, всего 72%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 10,45%. Характер кривой, а также коэффициент использования восстановительной способности газа и среднее содержание углекислоты в газе указывает на то, что при увеличении количества рудной сыпи, направляемого во внутреннее кольцо, улучшается использование восстановительной способности центрального потока газов, что несомненно скажется на уменьшении расхода горючего.

На фиг. 203, п представлено изменение температуры по сечению колошника. Как видно из кривой температур, наилучшее использование физического тепла газов получается у стенки печи, где температура равняется всего 120°. По направлению к оси печи уже на расстоянии 500 мм от стенки печи температура повышается до 310°, а затем постепенно падает и достигает у оси печи 130° С.

Сравнивая кривые температуры с кривыми содержания углекислоты, мы находим, что в этом случае закономерность повторяется не полностью. Максимальному содержанию углекислоты у стенки печи соответствует максимальная температура. В центральной части печи имеет место небольшое содержание углекислоты, постепенно понижающееся по направлению от стенки печи к оси, при небольшом содержании углекислоты в газе наблюдается пониженная температура. Таким образом, начиная с расстояния в 500 мм от стенки печи, одновременно наблюдается и повышение содержания углекислоты в газе и понижение температуры.

Вследствие небольшого количества рудной сыпи, в центральной части печи использование восстановительной способности газа было неполным, так как и количество газов здесь было небольшим. Таким образом, несмотря на наличие небольшого количества рудной сыпи в центральном столбе материалов, все же физическое тепло полностью ушло на нагрев опускающегося здесь древесного угля и того небольшого количества рудной сыпи, которое здесь имелось. Такое явление наблюдается нередко.

Пример десятый. 25 августа 1939 г. доменная печь работала на гороблагодатских полумаргитах при колоше древесного угля объемом 10,8 м³. На периферию шло 1800 кг руды, а в центральную часть 900 кг, что составило 33,3% от общего веса рудной сыпи в колошу 2700 кг.

Нагрев дутья достиг 680°. На тонну чугуна расход руды составлял 2,5 т, металлических добавок 55 кг, древесного угля 7,75 м³ или 1,04 т, нелетучего углерода 714 кг. Производительность доменной печи 134 т передельного чугуна с содержанием кремния 0,21% и марганца 0,92%. Время пребывания шихты в печи 4,8 часа, а коэффициент использования полезного объема печи 1,45 м³/т.

Пониженная производительность доменной печи объясняется простоями на смену патрубков фурмы № 7, длившуюся 1 ч. 30 м.

На фиг. 203, р представлено содержание углекислоты в газе по сечению колошника на верхнем горизонте из отверстия № 2. Как видно из диаграмм, максимальное содержание углекислоты у стенки печи равняется 15,5%, по направлению к оси печи она падает, доходя у оси печи до 6,4%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа составляет 81,6%, а среднее содержание углекислоты в газе 12,65%. Как видно из характера кривой содержания углекислоты в газе, имелась полная возможность во внутреннее кольцо центральной части печи давать большее количество рудной сыпи, что способствовало улучшению распределения материалов, а благодаря этому увеличению использования восстановительной способности газа и снижению расхода горючего.

Пример одиннадцатый. 26 августа 1939 г. доменная печь работала на гороблагодатских полумартитах при колесе древесного угля объемом 10,8 м³. На периферию поступало 1800 кг, а во внутреннее кольцо 900 кг, что составляло 33,3% от общего веса рудной сыпи в 2700 кг.

Нагрев дутья был около 650° С. На одну тонну чугуна расход руды был 2,06 т, древесного угля 7,3 м³, или 0,98 т, нелетучего углерода 672 кг. Металлических добавок в шихту не поступало. Производительность доменной печи была 162 т передельного чугуна, с содержанием кремния 0,8% и марганца 1,7%. Время пребывания шихты в печи равнялось 4,2 часа, а коэффициент использования полезного объема 1,2 м³/т.

На фиг. 203, с представлен состав газа на верхнем горизонте в отношении содержания углекислоты. У стенки печи и на кольце шириной в 250 мм максимальное содержание углекислоты равно от 16 до 16,3%, в дальнейшем оно резко падает и на расстоянии 0,75 м от стенки доходит до 9%, а в центральной части печи стабилизируется на низком уровне, также около 9%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа равен 71,4%, а среднее содержание углекислоты в газе на горизонте 11,65%.

Как видно из диаграммы, во внутреннее кольцо поступало недостаточное количество рудной сыпи, что сказалось и на повышении расхода горючего.

Данные, аналогичные предыдущим, были получены автором и при других многочисленных исследованиях состава газов и температур.

Вывод средних кривых при работе засыпного аппарата с двойной засыпкой периферийным и внутренним кольцом не дает точной картины, а лишь общий характер, потому что данные исследования относятся к различным условиям работы печи в отношении подачи рудной сыпи во внутреннее кольцо, вследствие чего по этим средним кривым не представляется возможным делать точное заключение.

Кроме того, как правило, средние кривые выравнивают результаты, полученные в отдельных исследованиях, и затупевают истинное положение, которое имеет место в работе печи. Поток газа в доменной печи сильно зависит не только от проницаемости шихты, засыпи и распределения сырых материалов, но и от целого ряда других причин (сход материалов в горн, подвисание, осадки, вязкость первичных шлаков, повышение или понижение зоны высоких температур и др.).

Каждый из упомянутых выше факторов оказывает в той или другой степени влияние на распределение газового потока, но основным фактором, преобладающим над всеми остальными, является распределение материалов и проницаемость шихты по сечению печи.

В силу многообразия отдельных факторов, влияющих на распределение газового потока учесть их значение представляется возможным по результатам отдельных исследований, которые являются показательными. На отдельных кривых с наибольшей отчетливостью проявляется влияние распределения материалов на колошнике на характер распределения газового потока.

Чтобы вывести заключение о том, какой процент рудной сыпи в условиях загрузки печи оказался наиболее приемлемым с точки зрения снижения расхода горючего и для сравнения отдельных факторов, влияющих на работу доменной печи, нами составлена табл. 10.

Рассматривая данные таблицы, можно сделать следующее заключение.

1. При работе на бакальских рудах с 19% рудной сыпи во внутреннее кольцо лучшие результаты имели место 22 июня, когда шла более богатая руда, чем в другие дни. Расход горючего при этом получился 7,22 м³ на тонну чугуна или 0,98 т по весу. Расход нелетучего углерода составил 660 кг. Время пребывания шихты в этот день снизилось до 3,9 часа, а коэффициент использования полезного объема доменной печи был довольно высокий — 1,26 м³ на тонну чугуна.

Экономичность доменной плавки на сырых бакальских рудах может быть значительно повышена при увеличении количества рудной сыпи, направляемой во внутреннее кольцо.

Данные исследований доменной печи № 3 Серовского завода при двухкольцевой засыпи с недогрузкой внутреннего кольца

Число месяца	Общий расход руда, т/м	Расход метал- лических по- бавок на тон- ну чугуна, кг	Содержание кремния в чу- гуна, %	Количество сыпн, направл. во внут. коль- цо, %	Максимальное содержание углекислоты на горизонте исследов., %	Среднее содержание углекислоты на горизонте ис- следован., %	Коэффициент использования тепловой способностей газа, %	Расход горюче- го на тонну чугуна, м³	Расход горю- чего, т/м	Расход неметал- лического угле- рода, кг/т	Коэффициент использования объема домен- ной печи, м³	Время пребывания шхты, часы
Работа на сырых бакальских рудах												
22 июня	1,90	нет	0,82	19,3	18,1	13,9	77	7,28	0,93	560	1,26	3,9
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовских руд, а на периферию высокогорских и гороблагодатских руд												
8 июля	1,71	125	1,91	27,4	17,0	10,9	64	5,60	0,82	517	1,07	4,7
Работа с подачей во внутреннее кольцо высокогорских полумартитов, а на периферию азербайжанских руд												
17 июля	1,63	61	1,36	31,5	12,9	10,1	76	7,20	0,98	665	1,17	4,0
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовских руд и на периферию высокогорских полумартитов												
21 июля	1,67	61	1,29	32,0	12,2	10,90	89	6,64	0,89	612	1,20	4,5
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовских и азербайжанских руд, а на периферию высокогорских полумартитов												
22 июля	1,83	94	1,55	32,14	11,8	10,25	86,5	8,17	1,09	752	1,23	3,8
Работа с подачей во внутреннее кольцо азербайжанских руд, а на периферию смеси воронцовских и гороблагодатских руд												
24 июля	1,90	69	1,52	32,1	16,5	12,50	76	7,58	1,02	698	1,17	3,9
Работа с подачей во внутреннее кольцо азербайжанских и воронцовских руд, а на периферию смеси высокогорских, гороблагодатских, азербайжанских и воронцовских руд												
20 июля	1,69	нет	1,66	30,7	14,2	12,05	85	7,25	0,97	678	1,20	3,9
Работа с подачей во внутреннее кольцо азербайжанской руды, на периферию гороблагодатских полумартитов												
3 августа	2,30	43	1,25	30,4	15,5	11,70	75,3	7,92	1,05	727	1,29	4,1

2. При работе доменной печи с подачей на периферию ауэрбаховских руд, а во внутреннее кольцо трудно восстановимых высокогорских полумартитов результаты получились много хуже. При подаче руды во внутреннее кольцо в количестве от 31,4 до 34,5% имело место несколько меньшее использование восстановительной способности газа, о чем можно судить по коэффициенту использования, равняющемуся 76%, а также по более низкому среднему содержанию углекислоты на горизонте в момент исследования 10,1%.

Расход горючего при плавке на литейный чугун с содержанием кремния 1,63% был 7,2 м³, или 0,98 т/т чугуна. Расход нелетучего углерода составил 665 кг на тонну чугуна.

Из приведенного следует сделать заключение, что работа с подачей на периферию ауэрбаховских руд, а во внутреннее кольцо высокогорских полумартитов нежелательно, лучше более легко восстановимые ауэрбаховские руды направлять во внутреннее кольцо, а на периферию давать высокогорские полумартиты.

3. Как сказывается на работе доменной печи подача во внутреннее кольцо мелкой руды можно видеть из результатов работы с подачей во внутреннее кольцо воронцовских эфелей и ауэрбаховских руд, а на периферию полумартитов. В таких условиях при работе доменной печи на литейный чугун с содержанием кремния 1,55%, расход горючего возрос до 8,17 м³, или 1,09 т/т чугуна. Расход нелетучего углерода составил 752 кг.

Здесь интересно отметить, что и при подаче во внутреннее кольцо 32,14% мелкой руды, все же получалась небольшая недогрузка внутреннего кольца. Коэффициент использования восстановительной способности газа получился высокий от 86,5 до 90%, что указывает на равномерное распределение газа по сечению колошника, но среднее содержание углекислоты на горизонте было невысокое — 10,25%.

В этом случае повышенный расход горючего получился также в результате обеднения рудной шихты, на что указывает довольно высокий расход ее в 1,83 т/т чугуна.

4. Работа с подачей во внутреннее кольцо ауэрбаховских и воронцовских руд, а на периферию смеси высокогорских, гороблагодатских, ауэрбаховских и воронцовских руд при выплавке литейных чугунов с содержанием кремния 1,66%, с подачей во внутреннее кольцо 30,7% руды, характеризуется расходом горючего в 7,25 м³ на тонну чугуна, или 0,97 т по весу. Расход нелетучего углерода составляет 678 кг при времени пребывания шихты 3,9 часа и коэффициента использования полезного объема в доменной печи 1,2 м³ на тонну.

Такой результат работы с отсутствием металлических добавок в шихту следует считать хорошим.

5. Работа на смеси ауэрбаховских и воронцовских руд выявляет, что с увеличением количества рудной сыпи, направляемой во внутреннее кольцо, при работе на передельные чугуны расход горючего понижается. Минимальный расход горючего имел место при направлении во внутреннее кольцо до 32,1%, при этом получился расход горючего, равный 6,23 м³, или 0,85 т на тонну валкового чугуна с содержанием кремния 0,48%. Руды в шихту шли бедные, на что указывает высокий их расход в 2,23 т/т чугуна. Неметаллических добавок шло 57 кг на тонну чугуна. Упомянутый низкий расход горючего в 578 кг нелетучего углерода на тонну чугуна был получен при очень небольшом времени пребывания шихты в доменной печи — 3,9 часа, и при коэффициенте использования полезного объема доменной печи 0,945 м³ на тонну чугуна.

6. При работе на гороблагодатских полумартитах с подачей во внутреннее кольцо 33,3% также наблюдался недогруз рудной сыпью внутреннего кольца. На передельный чугун расход горючего при недогрузке внутреннего кольца опускался до 7,3 м³ на тонну чугуна, или 0,98 т по весу, при содержании кремния 0,8%.

Руды шли в шихту небогатые, с расходом их при отсутствии металлических добавок 2,06 т/т. Время пребывания шихты 4,2 часа, а коэффициент использования объема был 1,2 м³ на тонну.

Работа доменной печи с подачей во внутреннее кольцо недостаточного количества рудной сыпи для получения наиболее полного использования восстановительной способности газа может быть рекомендована только при выплавке литейных чугунов с целью облегчения работы горна доменной печи, что благоприятно сказывается и на расходе горючего.

§ 19. Двухкольцевая засыпь с перегрузкой внутреннего кольца

Работа доменной печи с перегрузкой рудной сыпью внутреннего кольца считается нежелательной, так как при этом в горне доменной печи при недостаточном восстановлении руды внутреннего кольца могут иметь место пониженные температуры. Такой режим засыпи неоднократно имел место в период исследования и представил большой интерес с точки зрения оценки влияния перегрузки рудной сыпью внутреннего кольца на экономичность доменной плавки.

Пример первый. 7 июля 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию 1950 кг смеси высокогорской и гороблагодатской руды, а во внутреннее кольцо 850 кг воронцовской мелкой руды, что составляло 30,35 % от общего веса рудной сыпи 2800 кг в колошу объемом 10,8 м³.

На тонну чугуна расход руды равен был 2,12 т, расход металлических добавок — 154 кг, древесного угля — 7,69 м³, или 1,03 т, нелетучего углерода 700 кг. Нагрев дутья равнялся 634°, производительность доменной печи 130 т горячего литейного чугуна с содержанием кремния 2,67 % и марганца 0,85 %.

Время пребывания шихты в печи равно 5 часам, а коэффициент использования полезного объема — 1,5 м³/т.

На фиг. 204 а, б, в приведен состав газа в отношении содержания углекислоты из отверстия № 2 на верхнем горизонте. Как видно из кривой, максимальное содержание углекислоты, равное 12%, наблюдается в центральной части печи, на периферийном же кольце, шириной 0,75 м от стенки печи, содержание углекислоты колеблется от 9,3 до 10,7%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа равняется 86%, т. е. довольно высокий, но среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования составляет всего 10,3%, что указывает на пониженную экономичность доменной плавки, хотя расход древесного угля, если принять во внимание выплавку очень горячих литейных чугунов, с содержанием кремния 2,67%, был невысок, по сравнению с другими доменными печами Урала.

Необходимо также отметить, что перегрузка рудной сыпью центральной части печи не вызывает затруднения в выплавке даже очень горячих чугунов при небольшом расходе горючего, причем температуры в средней части горна доменной печи, даже при перегрузке рудной сыпью внутреннего кольца, не были особенно низки.

Пример второй. 11 июля 1939 г. на периферию доменной печи поступал высокогорский полумартит в качестве от 1750 до 1875 кг, а во внутреннее кольцо шла воронцовская руда в количестве от 1050 до 1125 кг, что составляет 37,5% от общего веса рудной сыпи в 2800—3000 кг в колошу 10,8 м³.

На тонну чугуна расход руды составил 1,79 т, металлических добавок 34 кг, древесного угля 6,85 м³, или 0,92 т, нелетучего углерода 632 кг. Нагрев дутья 634°. Производительность доменной печи в этот день составила 152 т. Время пребывания шихты 4,7 часа, а коэффициент использования полезного объема доменной печи 1,28 м³/т.

Чугун выплавлялся литейный, со средним содержанием кремния 2,15 % и марганца 0,91%.

На фиг. 204, г приведен состав и температуры газа из отверстия № 2.

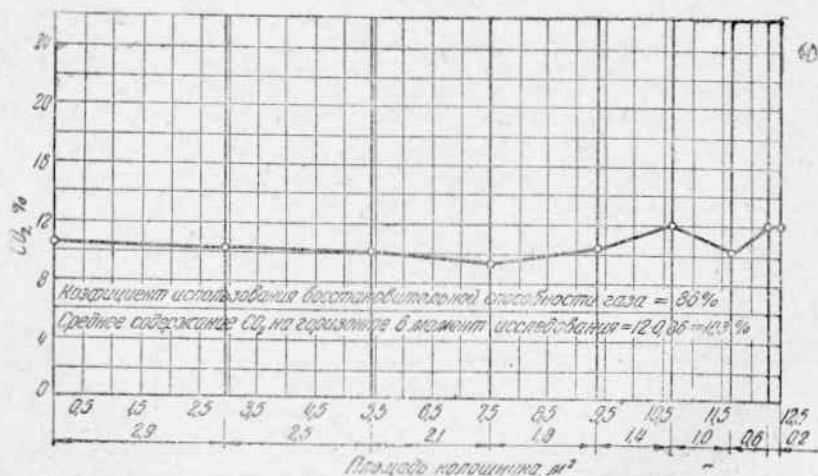
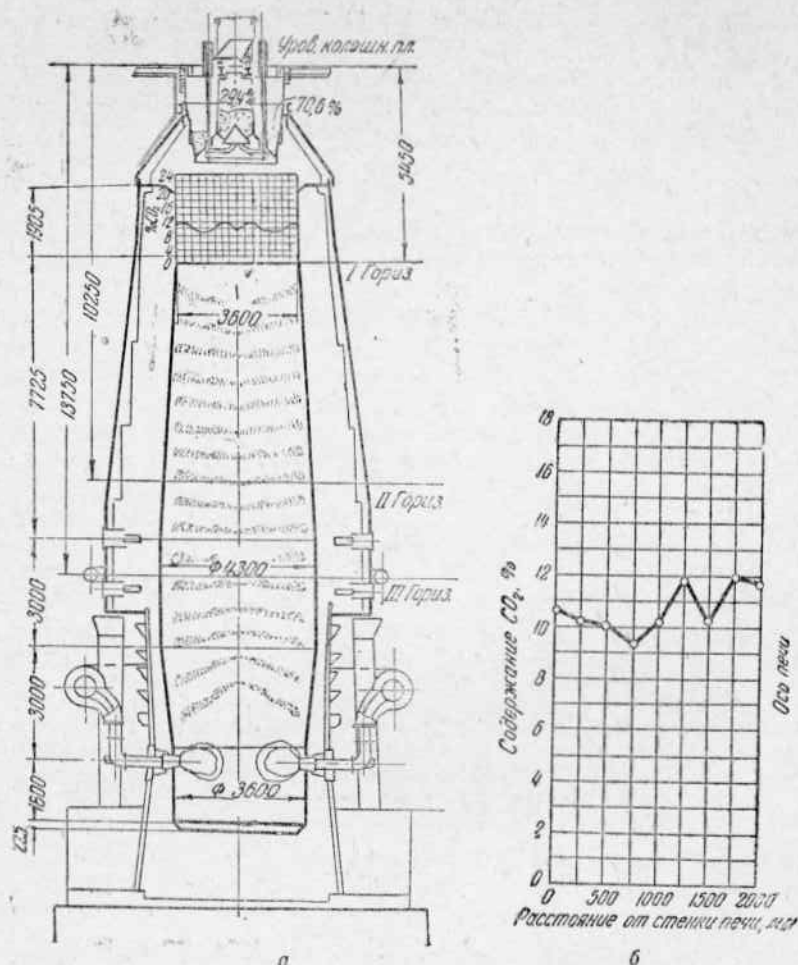
На фиг. 204, д дана в площадных координатах кривая содержания углекислоты, а на фиг. 204, е в тех же координатах кривая температуры.

Рассматривая кривые температуры и состава газа в отношении содержания углекислоты мы видим, что у оси печи имело место максимальное содержание углекислоты, достигающее, до 14,8%, при максимальной температуре 230—330°, в то время как на периферии в кольце шириной 0,75 м имело место пониженное содержание углекислоты от 10 до 11,3% и более высокая температура, достигающая до 530°.

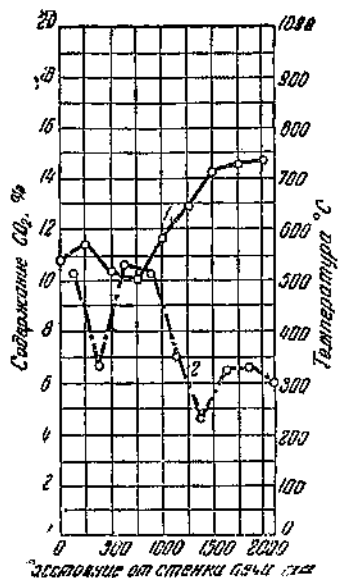
Коэффициент использования восстановительной способности газа — 77,5%, но среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования было довольно высокое и составляло 13,9%. Исходя из указанного, можно сделать заключение, что перегрузка рудной сыпью, хотя и ухудшает экономические результаты доменной плавки, но все же не приводит к какому-либо большому нарушению в работе доменной печи.

Несмотря на перегрузку рудной сыпью центральной части печи, расход древесного угля был невысок и составлял 6,85 м³, или 0,92 т/т чугуна при выплавке горячих литейных чугунов, с содержанием кремния 2,15%. Таким образом и здесь мы находим подтверждение того, что перегрузка рудной сыпью внутреннего кольца не влияет на возможность выплавки горячих литейных чугунов при сравнительно небольшом расходе горючего.

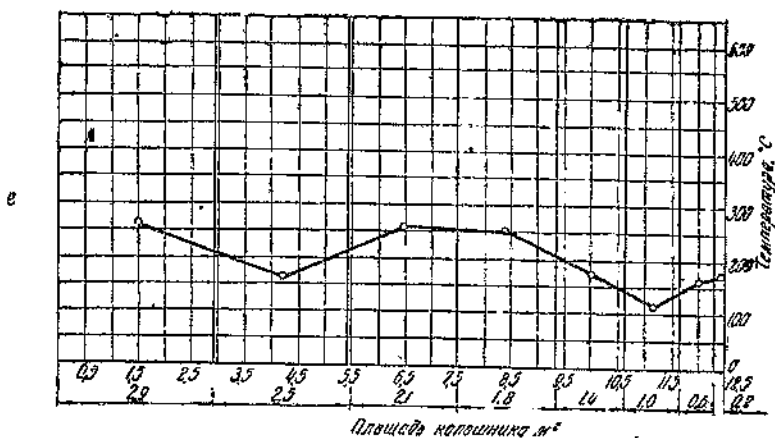
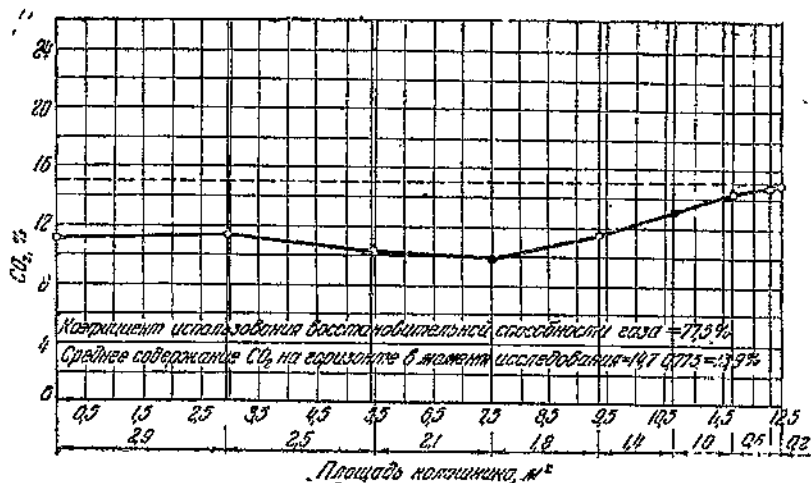
Пример третий. 14 июля 1939 г. на периферию шел высокогорский полумартит и охристая мытая руда в количестве 1800 кг, во внутреннее кольцо подавалась воронцовская руда

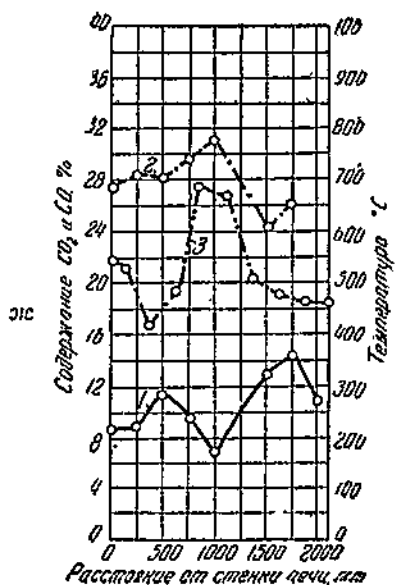


Фиг. 204. Диаграммы анализа газа и температуры на верхнем горизонте из отверстия № 2 при двухкоцевой засыпи с перегрузом внутреннего кольца: а — разрез печи и анализ газа от 7 июня 1939 г.; б — состав газа от 7 июля 1939 г. в линейных координатах; в — состав газа от 7 июля 1939 г. в площадных координатах х

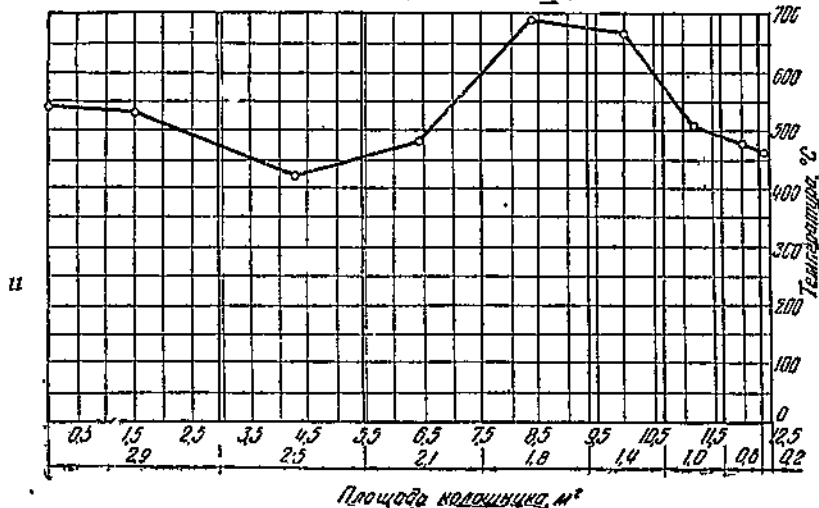
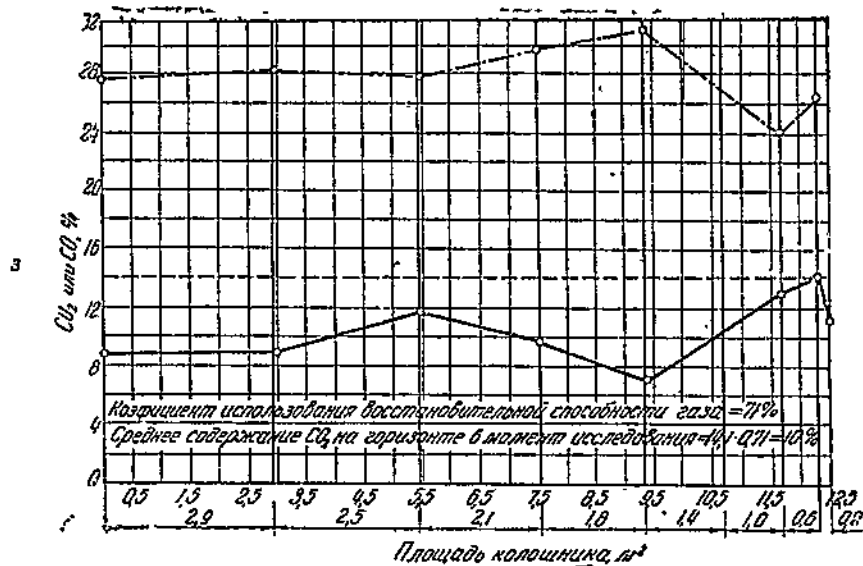


Фиг. 204: *г* — состав газа и температуры от 11 июля 1939 г. в линейных координатах; *д* — состав газа от 11 июля 1939 г. в площадных координатах; *е* — температура от 11 июля 1939 г. в площадных координатах.





Фиг. 204: 1с — состав газа, температура и статическое давление от 14 июля 1939 г. в линейных координатах; 3 — состав газа от 14 июля 1939 г. в площ. коорд.; и — температура от 14 июля 1939 г. в площадных координатах.



в количестве 800 кг, что составило 30,7% от общего веса рудной сыпи в 2600 кг в колошу объемом 10,8 м³. Несколько позднее в этот же день количество рудной сыпи, направляемой на периферию, было увеличено до 1900 кг, а во внутреннее кольцо до 850 кг, что дало общий вес рудной сыпи в колошу 2750 кг.

На 1 т чугуна расход руды в среднем за сутки был 1,99 т, металлических добавок 144 кг, древесного угля 7,82 м³, или 1,04 т, нелетучего углерода 722 кг. Нагрев дутья был 590°. Производительность доменной печи равнялась 139 т горячего литейного чугуна в сутки с содержанием кремния 2,03% и марганца 1,10%. Время пребывания шихты в печи составляло 4,6 часа и коэффициент использования полезного объема 1,40 м³/т.

На фиг. 234, ис приведены кривые состава и температуры газа на верхнем горизонте (из отверстия № 2).

Фиг. 204, з дает в площадных координатах состав газа по сечению печи в отношении содержания углекислоты и окиси углерода, а фиг. 204, и в тех же координатах — температуры.

Из диаграмм видно, что максимальное содержание углекислоты имело место в центральной части печи, где оно доходило до 14,1%. По направлению к стенке печи содержание углекислоты уменьшалось, причем минимум в 6,5% был на расстоянии 1,0 м от стенки. Дальше в этом же направлении содержание углекислоты поднялось и на расстоянии 0,5 м от стенки печи составило 11,7%. Еще дальше содержание углекислоты снова упало и около стенки печи было равно 8,6%.

Что же касается температур, то здесь характер кривой полностью соответствует характеру кривой содержания углекислоты. Минимальное содержание углекислоты у стенки печи соответствует первому максимуму температур 550° С. Первый максимум содержания углекислоты соответствует минимальной температуре 425° С, второй минимум в содержании углекислоты соответствует максимуму температур в 690° С. И, наконец, второй максимум содержания углекислоты соответствует минимальной температуре в 170° С.

Коэффициент использования восстановительной способности газа получился довольно низкий, равный 71%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования равнялось 10%, что также указывает на пониженную экономичность доменной плавки в момент проведения исследования.

Аналогичных примеров можно привести значительно больше.

Сравнение результатов исследования, проведенных в условиях работы доменной печи с перегрузкой внутреннего кольца, приводится в табл. 11.

1. Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовских руд, а на периферию высокогорских и гороблагодатских руд представляет интерес тем, что и в условиях перегрузки рудной сыпью внутреннего кольца, при направлении 30,3% рудной сыпи, имелась возможность получить горячие литейные чугуны, с содержанием кремния 2,67%, при сравнительно невысоком расходе горючего для таких чугунов, как 7,69 м³, или 1,03 т/т чугуна, с расходом нелетучего углерода 708 кг.

Следует отметить, что такой невысокий расход горючего получился при небольшом времени пребывания шихты в 5 час. и при коэффициенте использования полезного объема в 1,5 м³ на тонну. Коэффициент использования восстановительной способности газа был 86%, что указывает на хорошую равномерность состава по сечению колошника. Такой невысокий расход горючего на 1 т чугуна был получен при большом расходе руды в 2,12 т и значительном расходе металлических добавок — 154 кг, что указывает на большую бедность проплавляемых руд.

На коксовых доменных печах при выплавке горячих литейных чугунов с указанным выше содержанием кремния, расход нелетучего углерода получается порядка 900 кг, что указывает на экономичность плавки в данном случае. На древесноугольных доменных печах при выплавке таких горячих чугунов обычно получается более высокий расход горючего, порядка 800—900 кг, если работать на засыпных аппаратах с отсутствием регулирования засыпи между центром и периферией.

2. Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовских руд, а на периферию высокогорского полумартита при выплавке литейного чугуна с содержанием кремния 2,15%, характеризуется весьма экономичными результатами в отношении расхода горючего в 6,85 м³ на тонну, или 0,92 т по весу. Расход нелетучего углерода в этих условиях снизился до 632 кг при времени пребывания шихты в доменной печи 4,7 часа и при коэффициенте использования полезного объема 1,28 м³ на тонну. В доменную печь шли руды, расход которых составлял 1,79 т/т

Данные исследования доменной печи с-перезушкой внутреннего кольца

Число месяца	Общий расход руды, т/т чугуна	Расход метал- лических доб- чугуна, %	Содержание кремния в чу- гуна, %	Качество сырца, направл. по внут. коль-	Максимальное содержание углерода в момент ис- следования, %	Среднее содер- жание угле- рода на горизонте в момент иссле- дов., %	Коэффициент использования тепловой способ- ности газа, %	Расход горю- чего, м³/т чу- гуна	Расход горю- чего, т/т чу- гуна	Расход непе- рующего углеро- да, кг/т чу- гуна	Коэффициент использования тепловой способ- ности газа, м³/т	Время пребы- вания шихты, часы
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовских руд, а на периферию высокогорской и гороблагодатской руды												
7 июля	2,12	154	2,67	30,30	12,0	10,3	86	7,69	1,03	708	1,50	5,0
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовских руд, а на периферию высокогорского полумарта												
11 июля	1,79	38	2,15	37,5	14,7	13,9	77,5	6,85	0,92	632	1,28	4,7
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовских руд, а на периферию высокогорского полумарта и охристой руды												
14 июля	1,99	144	2,03	30,7	14,1	10,0	71	7,82	1,04	722	1,40	4,6
Работа на смеси ауэрбаховских и воронцовских руд												
15 августа	2,47	83	0,71	30,9	13,0	9,50	73	5,92	0,80	547	0,940	4,1
19 августа	2,31	52	0,48	32,1	14,2	10,20	72	6,52	0,88	600	1,05	4,0
Работа на гороблагодатских полумартах												
25 августа	2,51	55	0,21	33,3	15,5	12,15	81,6	7,75	1,03	714	1,45	4,8

чугуна. Расход металлических добавок был незначительный — 38 кг на тонну чугуна. Отсюда можно сделать также вывод, что при работе доменной печи с небольшой перегрузкой внутреннего кольца рудной сыпью, вполне возможно иметь высокие температуры в горне доменной печи, обеспечивающие выплавку горячих литейных чугунов с небольшим расходом горючего.

Так как при режиме засыпи с перегрузкой внутреннего кольца вполне возможно получить литейные чугуны с небольшим расходом горючего, то такую работу можно рекомендовать при выплавке многоуглеродистых чугунов, ввиду того что получению последних способствуют окислы железа и марганца, образующиеся в центральной части печи при перегрузке рудной сыпью внутреннего кольца. При такой работе марганцевую руду желательно вводить во внутреннее кольцо.

§ 20. Засыпь двумя обособленными кольцами

Засыпь двумя обособленными кольцами довольно часто встречалась за период исследования, так как она является довольно характерной в условиях работы доменной печи на тяжелых рудах, когда объем рудной сыпи в колошу невелик или при сильно влажной руде плохо рассыпающейся по поверхности колошника. В таких условиях периферийное и внутреннее кольцо рудной сыпи ложится на поверхность угольной колоши в обособленном виде.

В условиях работы засыпного аппарата вполне возможно при необходимости эту особенность колец устранить увеличением угольной колоши, или же увеличением диаметра центрального конуса.

Увеличение угольной колоши, в целях ликвидации обособленности засыпи между периферийными и внутренними кольцами, приведет к ухудшению проницаемости рудных линз, что в свою очередь скажется неблагоприятно на работе доменной печи, главным образом на неравномерности ее хода.

Увеличение диаметра центрального конуса не скажется на ухудшении проницаемости рудных линз, но приведет к некоторому увеличению мощности центрального потока газов около оси печи.

Ниже рассматриваются отдельные исследования, проведенные в условиях засыпи двумя обособленными кольцами.

Пример первый. 3 июля 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию сырой бакальской руды в количестве 2150 кг, а во внутреннее кольцо той же руды 1050 кг, что составило 32,8% от веса рудной сыпи в 3200 кг в колошу объемом 10,8 м³.

Расход руды составлял 2,63 т/т чугуна. Металлических добавок в шихту не поступало. Нагрев дутья был 662°. Производительность доменной печи в этот день была 81 т передельного чугуна с содержанием кремния 0,74% и марганца 1,65%. Время пребывания шихты составляло 5 часов, а коэффициент использования полезного объема печи 2,4 м³/т без учета простоя.

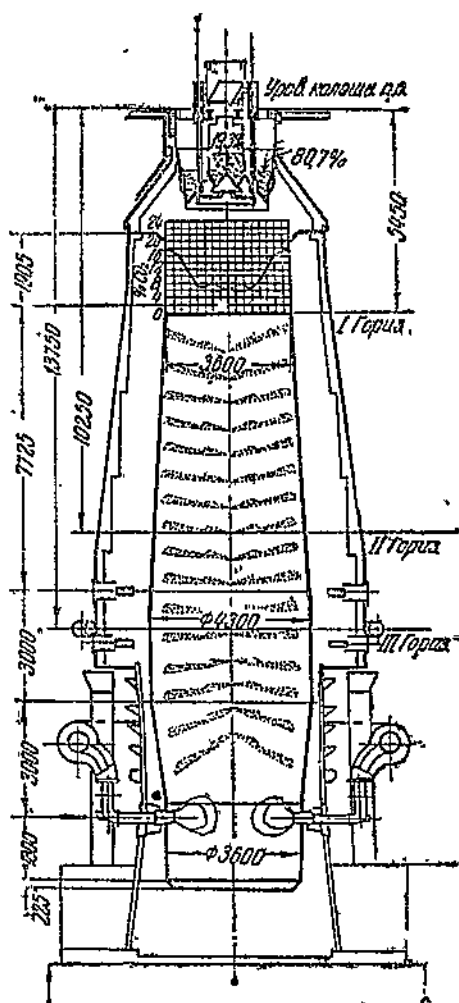
Понижение производительности доменной печи в этот день объяснялось перебоем в подаче сырых материалов, в связи с большими ливнями, которые проходили в это время в Серовском районе. Вследствие ливней уголь на доменную печь шел мокрый с содержанием влаги примерно до 20%.

Перебоя в подаче материалов на доменные печи и мокрый уголь обусловили для выплавки 1 т чугуна высокий расход древесного угля за этот день, равный 11,3 м³ или 1,37 т, нелетучего углерода 950 кг.

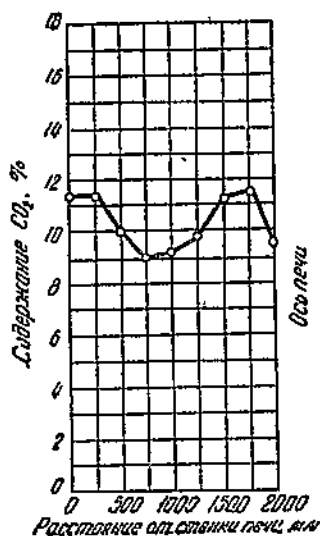
На фиг. 205 а, б и в приведен состав газа в отношении содержания углекислоты на верхнем горизонте из отверстия № 2. Из кривой содержания углекислоты мы видим, что максимум, равный 11 и 12%, был на периферии около стенки и в центральной части печи. Минимальное содержание углекислоты в 9% наблюдалось на расстоянии 0,75 м от стенки печи. Как видно из диаграммы, обособленность засыпи периферийного и внутреннего колец была значительная, что хорошо видно из площадной диаграммы, изображенной на фиг. 205, в.

Коэффициент восстановительной способности газа, который характеризует равномерность его состава по сечению печи, равнялся 89%, но среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования было низкое 10,05%, что указывает на пониженную экономичность доменной плавки, вызванной перебоями в подаче сырых материалов и сильным увлажнением древесного угля вследствие ливней.

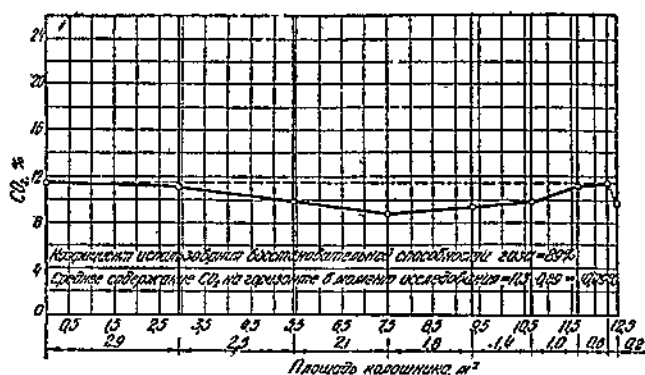
Пример второй. 7 июля 1939 г. на периферию доменной печи шла смесь высокогорской и гороблагодатской руд в количестве 1950 кг, а во внутреннее кольцо — воронцовская руда в количестве 850 кг, что составляет 30,35% от общего веса рудной сыпи в 2800 кг в колошу объемом 10,8 м³.



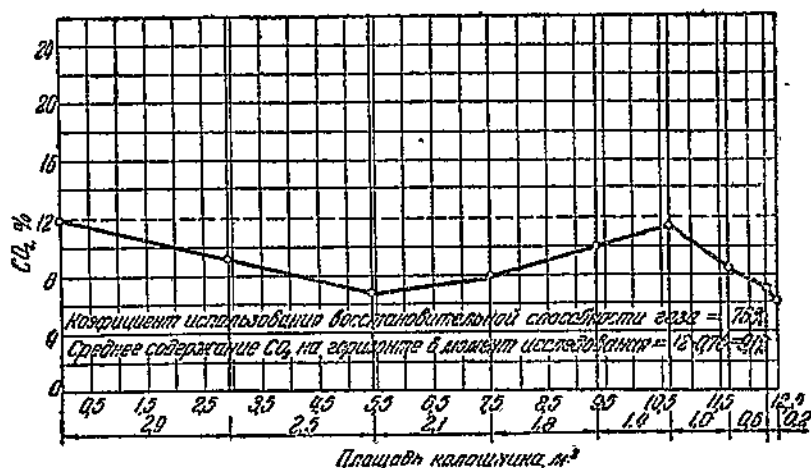
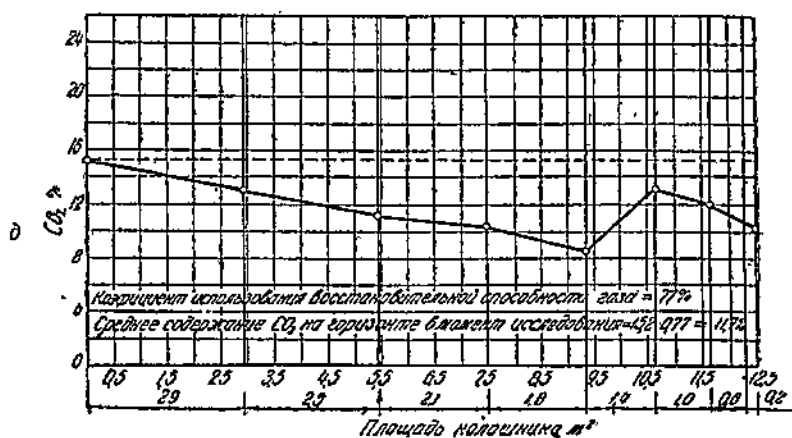
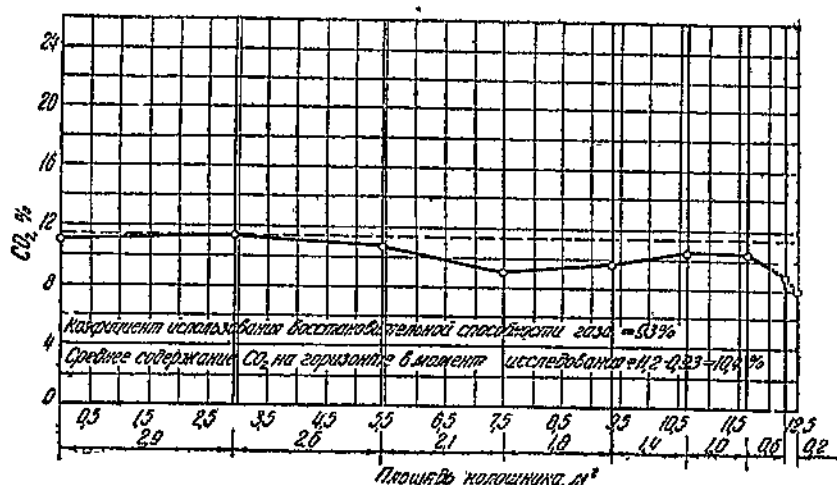
а



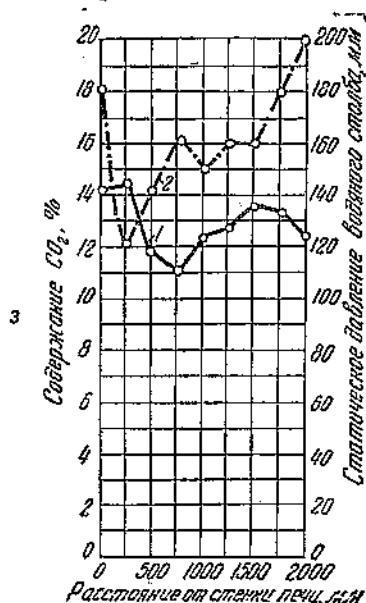
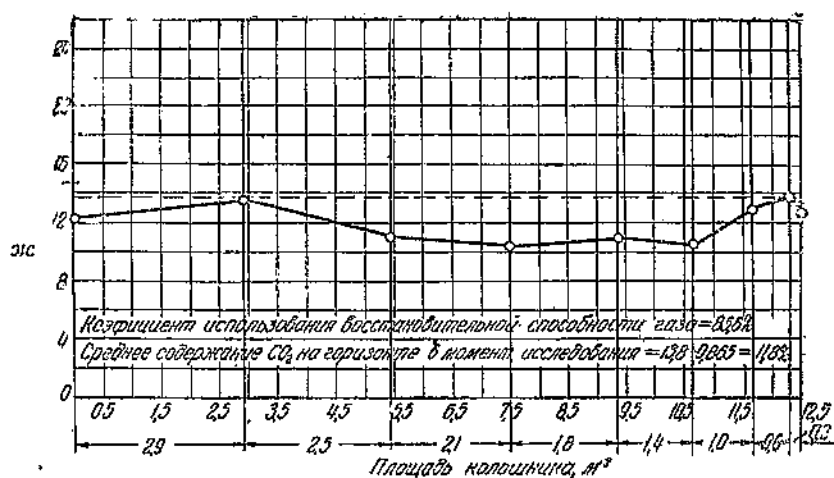
б



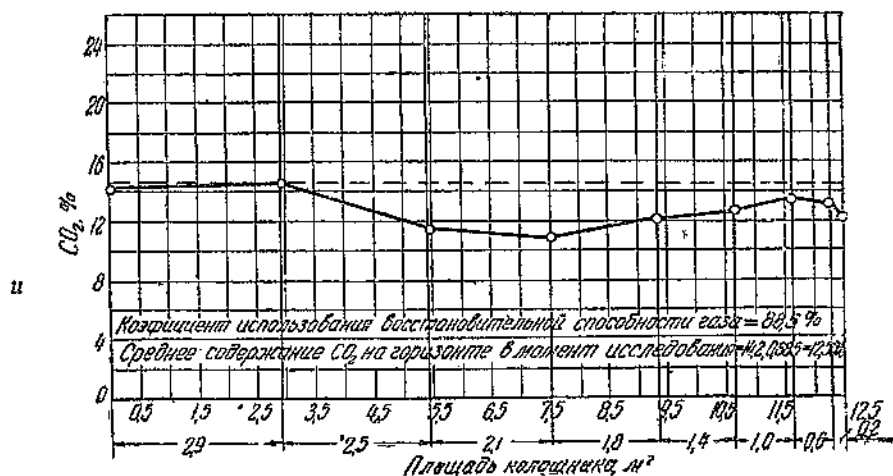
Фиг. 205: Диаграмма анализа газа, температуры и статического давления на верхнем горизонте из отверстий № 2 и 3: при засыпи двумя обособленными кольцами: а — разрез доменной печи и анализ газа из отверстия № 2 от 3 июля 1939 г.; б — состав газа из отверстия № 2 от 3 июля 1939 г. в линейных координатах; в — состав газа из отверстия № 2 от 3 июля 1939 г. в площадных координатах;

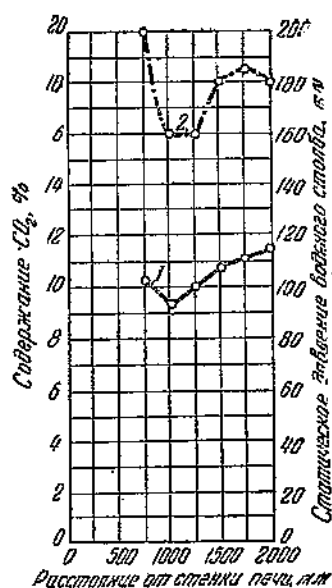


Фиг. 205: а — состав газа из отверстия № 3 от 7 июля 1939 г. в площадных координатах; б — состав газа из отверстия № 2 от 8 июля 1939 г.; в — состав газа из отверстия № 2 от 23 июля 1939 г.

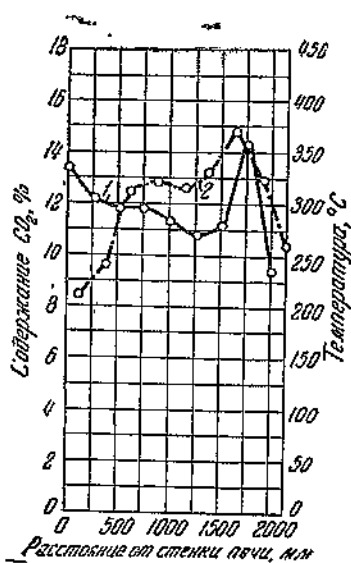


Фиг. 205: жс — состав газа из отверстия № 2 от 2 августа 1939 г.; з — состав газа и статическое давление из отверстия № 2 от 6 августа 1939 г. в лнн. коорд.; и — состав газа из отв. № 2 от 6 августа в площадных координатах.

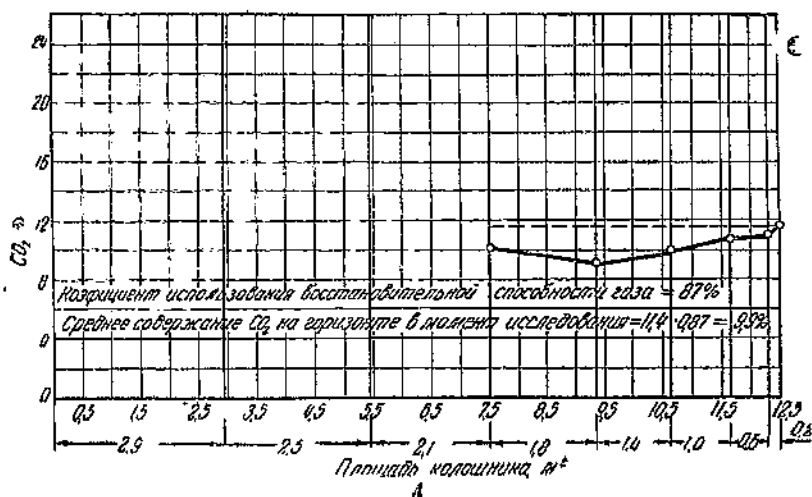




К

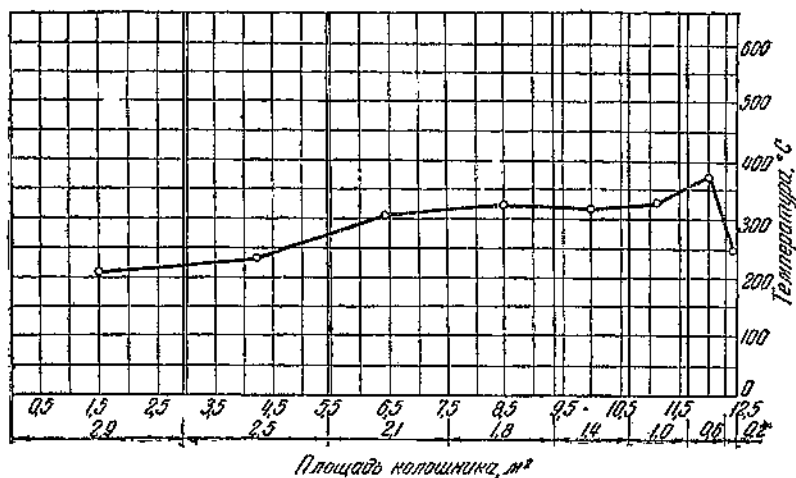
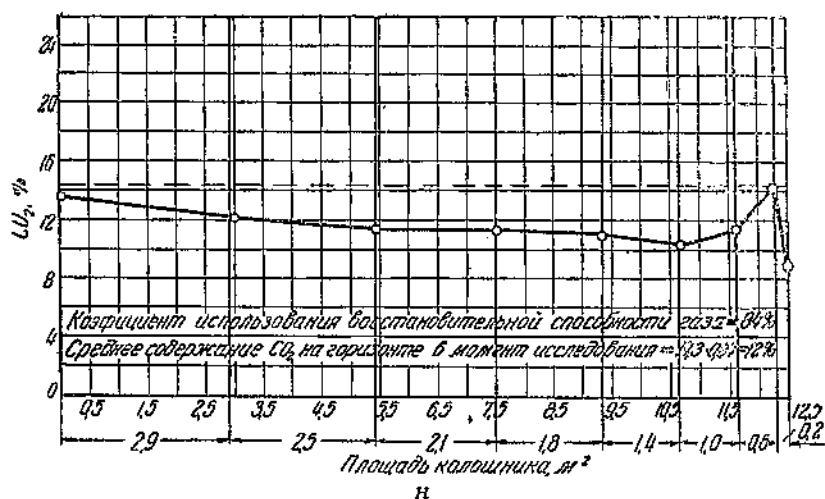


М



А

Фиг. 205: К — состав газа и статическое давление из отверстия № 2 от 6 августа 1939 г. в линейных координатах; М — состав газа из отверстия № 2 от 6 августа 1939 г. в площадных координатах; Л — состав газа и температуры из отверстия № 2 от 23 августа 1939 г. в линейных координатах;



Фиг. 205: η — состав газа из отверстия № 2 от 23 августа 1939 г. в площадных координатах; t — температура, измеренная через отверстие № 2 от 23 августа в 1939 г. в площадных координатах.

На тонну чугуна расход руды в этот день составлял 2,12 т, металлических добавок 145 кг, горючего — 7,69 м³, или 1,03 т, нелетучего углерода 708 кг. Нагрев дутья 643°. Производительность доменной печи — 130 т горячего литейного чугуна, с содержанием кремния 2,67% и марганца 0,85%. Время пребывания шихты в доменной печи 5 час., коэффициент использования полезного объема — 1,50 м³/т.

На фиг. 205, а приведены данные в отношении содержания углекислоты на верхнем горизонте из отверстия № 3. Из этой кривой видно, что максимального значения 11,2% углекислота достигает на расстоянии 0,25 м от стенки печи. В дальнейшем по направлению к оси доменной печи ее содержание падает, доходя на расстоянии 0,75 м до 9,3%, а затем вновь поднимается, достигая на расстоянии 1,25 м — 10,7% и потом снова падает у оси печи до 8%.

Рассматривая характер кривой, мы видим обособленность периферийного и внутреннего колец, что объясняется работой доменной печи на плотных гороблагородатских и высокогорских рудах.

Коэффициент использования восстановительной способности газа высок и составляет 93%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 10,4.

Такое распределение газа по сечению колошника и использованию его восстановительной способности может считаться для работы доменной печи также оптимальным.

Расход горючего, который имел место в этот день при работе на очень горячие литейные чугуны, с содержанием кремния 2,67%; невелик, составляя 7,69 м³, или 1,03 т/т чугуна. Таких результатов в отношении расхода горючего при выплавке литейных чугунов не имеют другие доменные печи Урала или коксовые доменные печи.

Пример третий. Особенно хорошие результаты работы доменной печи наблюдались 8 июля 1939 г., когда снабжение ее как древесным углем, так и рудой было организовано образцово. На протяжении всех суток доменная печь № 3 была полной, что имело место не так часто в период исследования, когда работу доменного цеха лихорадило из-за отсутствия стабильного снабжения древесным углем.

Рудная сыпь, поступающая на периферию, состояла из смеси высокогорских и гороблагородатских руд, которые шли в количестве 2250 кг. Во внутреннее кольцо поступала воронцовская руда в количестве 850 кг, составлявшая 27,42% от общего веса рудной сыпи в 3100 кг в ковшу объемом 10,8 м³.

Расход руды в этот день составлял 1,71 т, а расход металлических добавок 125 кг на тонну чугуна. Нагрев дутья 607°. Производительность доменной печи составляла 182 т горячего литейного чугуна, с содержанием кремния 1,91% и марганца 0,87%. Время пребывания шихты в доменной печи 4,7 часа, а коэффициент использования полезного объема — 1,07 м³/т.

Расход древесного угля за этот день составлял всего 5,6 м³, или 0,76 т/т чугуна. Расход нелетучего углерода равнялся 517 кг на тонну чугуна. Такой низкий расход древесного угля не встречался на других доменных печах Урала, работающих на выплавку литейных чугунов. Работа доменной печи в этот день была признана весьма экономичной.

На фиг. 205, б приведен состав газа на верхнем горизонте из отверстия № 2 по сечению колошника. Из диаграмм видно, что максимальное содержание углекислоты было на периферии, достигая у стенки печи 15,1%. По направлению к оси печи оно постепенно уменьшалось, достигая на расстоянии 1,0 м минимума в 8,9%, а затем вновь поднималось на расстоянии 1,25 м от стенки печи до 13,1%, после чего упало по направлению к оси печи до содержания у оси в 10,1%. Характер кривой показывает, что периферийное кольцо имело несколько большее количество рудной сыпи, чем внутреннее кольцо. Указанное обстоятельство привело к тому, что центральная часть горна не перегружалась при сходе материалов реакциями прямого восстановления окислов железа из рудной сыпи, при этом получились благоприятные условия в работе горна, обеспечивавшие снижение расхода горючего.

Такое распределение материалов можно признать желательным, так как, несмотря на обособленность периферийного и внутреннего колец, характер его распределения вполне соответствовал требованиям меньшей загрузки горна, которые предъявляются при работе на литейный чугун.

Коэффициент использования восстановительной способности газа составлял 77%, однако среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования равнялось 11,7%, что указывает на хорошую экономичность доменной плавки.

Пример четвертый. 23 июля 1939 г. на периферию доменной печи поступал высокогорский полумартит в количестве 1800 кг; а во внутреннее кольцо смесь ауэрбаховской и воронцовской руды в количестве 850 кг, что составило 32,1% от общего веса рудной сыпи в 2650 кг на ковшу объемом 10,8 м³.

Расход руды составлял 1,90 т, а металлических добавок 59 кг на тонну чугуна. Нагрев дутья 628°. Производительность доменной печи в этот день составляла 150 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,84% и марганца 0,99%. Время пребывания шихты в доменной печи равнялось 4,2 часа, а коэффициент использования полезного объема — 1,30 м³/т.

Расход древесного угля за этот день был 7,82 кг, или 1,04 т/т, нелетучего углерода 720 кг на тонну чугуна. Повышенный расход горючего в этот день объяснялся тем, что значительную часть времени доменная печь работала с перегрузкой внутреннего кольца рудной сыпью.

На фиг. 205, в представлен состав газа в отношении содержания углекислоты на верхнем горизонте из отверстия № 2. Максимальное ее содержание наблюдается на расстоянии 0,5 м от стенки печи, где оно равно 12,7%. Характер кривой содержания углекислоты указывает на резкую обособленность периферийного и внутреннего колец рудной сыпи, что привело к

пониженным результатам в отношении использования восстановительной способности газа и к понижению экономичности работы печи.

Коэффициент использования восстановительной способности газа в момент исследования равнялся 76%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования было равно 9,1%, что указывает на недостаточную экономичность доменной плавки.

Пример пятый. 2 августа 1939 г. на периферию доменной печи поступала смесь высокогорской и гороблагодатской руды в основном полумартитов (50%) и бурохристой ауэрбаховской мелкой руды (50%), которых шло 1900 кг в колошу. Во внутреннее кольцо подавалась смесь ауэрбаховской и воронцовской руды, в основном кусковой, в количестве 800 кг, что составляло 29,6% от общего веса рудной сыпи 2700 кг в колошу, объемом 10,8 м³.

Расход руды составлял 2,2 т/т, металлических добавок 47 кг на тонну чугуна. Нагрев дутья был 700°. Производительность доменной печи в этот день достигала 159 т горячего литейного чугуна с содержанием кремния 2,25% и марганца 0,93%. Время пребывания шихты в доменной печи 4,4 часа, а коэффициент использования полезного объема — 1,225 м³/т.

Расход древесного угля за этот день был равен 6,98 м³, или 0,94 т/т, нелегучего углерода 645 кг на тонну чугуна. Такие результаты работы доменной печи в отношении расхода горячего могут быть признаны экономичными, если принять во внимание выплавку горячих литейных чугунов с содержанием кремния 2,25%.

На фиг. 205, *жс* приведен состав газа в отношении содержания углекислоты на верхнем горизонте из отверстия № 2, причем ее содержание у стенки печи равнялось 12,2%, на расстоянии 0,25 м от стенки оно поднялось до 13,3%, затем с выклиниванием рудной линзы по направлению к оси доменной печи упало на расстоянии 0,75—1,25 м от стенки до 10,3%, и дальше по направлению к оси вновь поднялось, достигнув 14,9% на расстоянии 0,75 м от стенки печи. У оси печи содержание углекислоты упало до 12,7%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа получился высокий — 85,6%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования было также высоким, составляя 11,8%. Если принять во внимание работу доменной печи на весьма горячие чугуны с содержанием кремния 2,25%, то ее надо признать экономичной.

Пример шестой. 6 августа 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию 1850 кг гороблагодатских полумартитов и 850 кг воронцовской руды. Во внутреннее кольцо шла воронцовская мелкая руда в количестве 900 кг, что составляло 34,6% от общего веса рудной сыпи в колошу 2600 кг объемом 10,8 м³.

Расход руды в этот день составлял 2,52 т, а металлических добавок 56 кг, древесного угля 7,8 м³, или 1,04 т, нелегучего углерода 718 кг на тонну чугуна. Нагрев дутья был 630—680°. Производительность доменной печи в этот день равнялась 164 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,42% и марганца 0,51%. Время пребывания шихты в доменной печи составляло 3,9 часа, а коэффициент использования полезного объема был 1,19 м³/т.

На фиг. 205, *з* приведен состав газа и статическое давление по сечению колошника из отверстия № 2 на верхнем горизонте, а на фиг. 205, *и* в площадных координатах приведен состав газа в отношении содержания углекислоты.

Рассматривая кривую содержания углекислоты, видим, что максимальное ее содержание имело место на периферии доменной печи у стенки на кольце шириной 0,25 м, где оно равнялось от 14,2 до 14,4%. Минимальное содержание углекислоты, соответствующее выклиниванию рудной линзы периферийного кольца, имело место на расстоянии 0,75 м от стенки печи. В дальнейшем по направлению к оси доменной печи содержание углекислоты росло до 13,7% на расстоянии 1,5 м от стенки печи. У оси печи содержание углекислоты было также высоким и составляло 12,3%. Минимум содержания углекислоты в 11% на расстоянии в 0,75 м от стенки печи указывает на некоторую обособленность засыпи периферийного и внутреннего колец рудной сыпи.

Коэффициент использования восстановительной способности газа все же при этом был высок и составлял 88,5%, при среднем, также высоком, содержании углекислоты на горизонте в момент исследования в 12,56%, что указывает на довольно экономичную доменную плавку на литейный чугун.

На фиг. 205, *к* и *л* приведен состав газа и статическое давление на колошнике доменной печи при осадке, которая произошла в момент забора пробы на расстоянии 0,75 м от стенки печи, в результате чего взятие проб с сечения не было закончено.

Анализ состава газа в отношении содержания углекислоты понизился по сравнению с тем, каким он был при нормальной работе доменной печи, которая характеризуется предыдущим исследованием. Общее понижение содержания углекислоты в газе при подвигании является вполне логичным, поскольку образование пустоты в доменной печи в этот момент несомненно способствует ухудшению использования восстановительной способности газа.

Пример седьмой. 23 августа 1939 г. на периферию доменной печи шел гороблагодатский полумартит в количестве 2010 кг, а во внутреннее кольцо — та же руда в количестве 900 кг, что составляло 30,9% от общего веса рудной сыпи в 2910 кг в колошу объемом 10,8 м³. Дополнительно к железной руде шло в колошу 30 кг марганцевой руды, которая поступала на периферию.

Расход руды в этот день составлял 2,74 т, т. е. руда была очень бедная по содержанию железа, а металлических добавок 34 кг на тонну чугуна. Нагрев дутья 640°. Производительность доменной печи в этот день составляла 147 т передельного чугуна с содержанием кремния 0,65% и марганца 1,21%. Время пребывания шихты 4,3 часа, а использование полезного объема печи — 1,32 м³/т.

Расход древесного угля в этот день составлял $7,8 \text{ м}^3$ на тонну чугуна, или $1,04 \text{ т/т}$ чугуна. Расход пелетучего углерода — 718 кг на тонну чугуна. Повышенный расход древесного угля в значительной степени объясняется бедностью проплавления в этот день руд, на что указывает высокий расход руды на тонну чугуна.

На фиг. 205, *м* приведен анализ газа и температуры на верхнем горизонте по сечению колошника.

На фиг. 205, *н* представлен в площадных координатах состав газа в отношении содержания углекислоты, а на фиг. 205, *о* даны температуры в тех же координатах.

Рассматривая кривую содержания углекислоты, мы видим, что максимальное ее содержание наблюдается у стенки печи, а также на расстоянии в $1,75 \text{ м}$ от стенки печи. Около стенки печи содержание углекислоты равно $13,4\%$, при температуре газа 215° . По направлению к оси доменной печи содержание углекислоты постепенно падает, а одновременно температура газа растет. На расстоянии $1,25 \text{ м}$ от стенки печи содержание углекислоты достигает $10,9\%$, а температура повышается до 315° . Дальше по направлению к оси доменной печи наблюдается одновременное повышение содержания углекислоты и повышение температуры. На расстоянии $1,75 \text{ м}$ от стенки печи содержание углекислоты доходит до $14,3\%$, а температура повышается при этом до 370° . Содержание углекислоты падает у оси печи до $9,3\%$. Одновременно с этим падает и температура до 300° .

Коэффициент использования восстановительной способности газа получился довольно высокий — 84% , а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования было равно $12,0\%$, что указывает на хорошую экономичность доменной плавки.

Что же касается температур, то они по сечению колошника повышались по направлению к центральной части доменной печи. Возможность улучшения использования восстановительной способности газа и физического тепла имела за счет дальнейшего выравнивания газового потока и улучшения прохождения процессов прямого восстановления.

Бедность руды, проплавления в этот день, была большим препятствием к улучшению восстановительных процессов, что и сказалось на повышении расходов горючего.

Сравнительные данные по исследованию, проведенному при режиме засыпи с той или другой обособленностью периферийного и внутреннего колец рудной сыпи приведены в табл. 12.

Из рассмотрения данных исследования и табл. 12 можно сделать следующие выводы:

1. Кривая содержания углекислоты с наличием минимума на некотором расстоянии от стенки печей объясняется двумя причинами: а) уменьшением толщины периферийной рудной линзы перед гребнем внутреннего кольца, б) уменьшением температуры газов по удалении от стенки печи, вследствие меньшего количества идущих здесь газов по сравнению с пространством около стенки печи, что ухудшает прохождение восстановительных процессов. Вторая причина имеет место, когда одновременно с уменьшением содержания углекислоты по направлению от стенки печи к оси, наблюдается и понижение температуры. Что же касается снижения содержания углекислоты вследствие уменьшения толщины сыпи (первая причина), то это имеет место, когда одновременно с ее снижением идет рост температуры газов.

2. При работе на сырой бакальской руде обособленность периферийного и внутреннего кольца наблюдается только при сильно увлажненной руде вследствие ухудшения ее рассыпания, что имело место в период ливней на Серовском заводе 3 июля 1939 г. Расход древесного угля вследствие работы на мокрой руде и древесном угле с большим содержанием влаги был за эти дни повышен.

3. Работа на литейные чугуны с подачей во внутреннее кольцо смеси воронцовских и ауэрбаховских руд, а на периферию высокогорской руды и гороблаготатских полумартитов и магнитных железяков сопровождается при колоше $10,8 \text{ м}^3$ явно выраженным распределением материалов в виде двух обособленных колец.

Рассматривая данные работы в этих условиях, мы видим, что расход горючего колебался в довольно широких пределах — от $5,6 \text{ м}^3$, или $0,76 \text{ т}$, до $7,82 \text{ м}^3$, или $1,04 \text{ т/т}$ чугуна. Такое большое колебание в расходе горючего объясняется не только различием в степени обособленности периферийного и внутреннего колец рудной сыпи, но также различием содержания железа в рудной шихте, поступавшей в доменную печь, и различного количества металлических добавок, шедших на тонну чугуна. Особенно хорошие результаты были получены при работе на литейные чугуны с содержанием $1,91\%$ кремния, при подаче во внутреннее кольцо $27,42\%$ рудной сыпи, т. е. при некоторой недо-

грузке рудной сыпью внутреннего кольца, что при работе на литейный чугун благоприятно сказалось на работе горна и обеспечило минимальный расход горючего в $5,6 \text{ м}^3$, или 517 кг нелетучего углерода на тонну чугуна, при времени пребывания шихты в $4,7$ часа и при весьма хорошем коэффициенте использования полезного объема доменной печи в $1,07 \text{ м}^3/\text{т}$. Металлических добавок при этомшло 125 кг на тонну чугуна.

Увеличение количества рудной сыпи, направляемой во внутреннее кольцо, в этих условиях сказалось бы неблагоприятно и вызвало некоторое увеличение расхода горючего. Точно установить, какое получилось бы по этой причине увеличение расхода горючего, — довольно трудно, но из сопоставления общего расхода горючего на тонну чугуна, расхода металлических добавок и расхода горючего, можно видеть, что повышенный расход горючего нельзя только объяснить проплавкой более бедной руды.

Наиболее высокий расход горючего (720 кг нелетучего углерода) был получен при подаче во внутреннее кольцо $31,4\%$ рудной сыпи при расходе руды $1,90 \text{ т}$ и металлических добавок 59 кг на тонну литейного чугуна, что указывает на избыток подачи в этот день руды во внутреннее кольцо.

Можно считать, что при работе на литейные чугуны засыпь двумя обособленными кольцами является приемлемой при условии недогрузки рудной сыпью внутреннего кольца, что всего легче получить при подаче во внутреннее кольцо смеси воронцовской и ауэрбаховской руды, а на периферию высокогорских и гороблагодатских полумартитов и магнитных железняков, при направлении во внутреннее кольцо $27\text{—}28\%$ рудной сыпи.

Рудная сыпь на колошу $10,8 \text{ м}^3$ доводилась при этом до 3100 кг , что обеспечивало при расходе металлических добавок в 125 кг на тонну очень низкий расход горючего в $5,6 \text{ м}^3$, или 517 кг нелетучего углерода.

4. При работе с подачей во внутреннее кольцо ауэрбаховских и воронцовских руд, а на периферию смеси высокогорских, гороблагодатских, ауэрбаховских и воронцовских руд при выплавке горячих литейных чугунов, имел место расход горючего от $6,98 \text{ м}^3$, или $0,94 \text{ т}$, до $9,01 \text{ м}^3$, или $1,2 \text{ т}/\text{т}$ чугуна. Минимальный расход горючего был получен при направлении во внутреннее кольцо около 30% рудной сыпи. В этих условиях при выплавке чугунов с содержанием кремния $2,20\%$ и при довольно бедной руде с расходом $2,2 \text{ т}$ и количестве металлических добавок 47 кг на тонну чугуна, был получен очень небольшой расход горючего в 645 кг нелетучего углерода на тонну чугуна при небольшом времени пребывания шихты в $4,4$ часа и высоком коэффициенте использования полезного объема печи в $1,225 \text{ м}^3/\text{т}$.

5. При работе с подачей во внутреннее кольцо воронцовских мелких руд, а на периферию гороблагодатских полумартитов и воронцовской руды, вследствие бедности проплавляемых руд, на что указывает высокий расход в $2,52 \text{ т}$ при подаче металлических добавок 56 кг на тонну чугуна, получился также повышенный расход горючего в $7,8 \text{ м}^3$, или $1,04 \text{ т}/\text{т}$ чугуна, при выплавке литейных чугунов с содержанием кремния $1,42\%$. Вообще говоря, такие результаты при бедной руде и выплавке литейных чугунов могут считаться неплохими.

6. При работе на гороблагодатских полумартитах при направлении во внутреннее кольцо $30,9\%$ рудной сыпи и при большой бедности руды, на что указывает высокий расход руды в $2,74 \text{ т}/\text{т}$ чугуна, при количестве металлических добавок в шихту $34 \text{ кг}/\text{т}$ получился расход горючего в $7,8 \text{ м}^3$, или $1,04 \text{ т}/\text{т}$. Расход нелетучего углерода составил 718 кг . Такой расход углерода нередко встречается в работе шведских печей даже на передельные чугуны, что указывает на экономичность доменной плавки.

Засыпь в виде двух обособленных колец при выплавке литейных чугунов может обеспечить невысокий расход горючего, особенно в том случае, когда не допущено перегрузки рудной сыпью внутреннего кольца. При работе доменной печи с подачей во внутреннее кольцо смеси воронцовских и ауэрбаховских руд, а на периферию высокогорских и гороблагодатских полумартитов и магнитных железняков, количество рудной сыпи, направляемой во внутреннее кольцо,

Число, месяц	Общий расход руды, т/м чу- гуна	Расход метал- лических до- бавок на тон- ну чугуна, кг	Содержание кремния в чу- гуне, %	Кол-во сыпчи направляем. во внутр. кольцо, %	Максимальное содержание углекислоты на горизонте в момент иссле- дования, %	Среднее содер- жание угле- кислот. на го- ризонте в мо- мент исследо- вания, %	Использова- ние восстано- вительной спо- собности газа, %	Расход горю- чего м ³ на т чугуна	Расход горю- чего, т/м чугуна	Расход неме- туемого угле- рода, кг/т	Коэффициент использован. полезного объема домен- ной печи, м ³	Время пребы- вания шихты в часах
Работа на сырой бакальской руде												
3 июля	2,63	нет	0,74	29,4	11,3	10,05	89	10,30*	1,37	950	2,4	5,0
Работа с подачей во внутреннее кольцо смеси воронцовских и ауэрбаховских руд, а на периферию высокогорских и гороблагодатских полумартитов и магнитных железняков												
7 июля	2,12	145	2,67	30,35	11,2	10,4	93	7,69	1,03	708	1,50	5,0
8 июля	1,71	125	1,91	27,42	15,2	11,7	77	5,60	0,76	517	1,07	4,7
23 июля	1,90	59	1,84	31,4	12,0	9,1	76	7,82	1,04	720	1,30	4,2
Работа с подачей во внутреннее кольцо ауэрбаховских и воронцовских руд, а на периферию смеси высокогорских, гороблагодатских, ауэрбаховских и воронцовских руд												
2 август	2,2	47	2,25	29,6	14,9	11,8	85,6	6,98	0,94	645	1,225	4,4
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовских мелких руд, а на периферию смеси гороблагодатских полумартитов и воронцовской руды												
6 август	2,52	34	0,42	34,6	14,3	12,56	88,5	7,80	1,04	718	1,19	3,9
Работа на гороблагодатских полумартитах												
23 август	2,74	34	0,65	30,9	14,3	12,0	84	7,80	1,04	718	1,32	4,3

* Простой и подготовка доменной печи к остановке.

должно быть 27—28%. При работе с подачей во внутреннее кольцо ауэрбаховских и воронцовских руд, а на периферию смеси высокогорских, гороблагодатских, ауэрбаховских и воронцовских руд, количество рудной сыпи, направляемой во внутреннее кольцо, должно быть около 30%. Этой же величины в 30% при работе на литейный чугун следует придерживаться при проплавке и других руд в условиях засыпи с получением двух обособленных колец.

Следует отметить, что засыпь в виде двух обособленных колец преимущественно наблюдается при работе на литейные чугуны, когда в шихту поступает на колошу сравнительно небольшое количество руды по объему.

§ 21. Оптимальная засыпь

Работа доменной печи № 3 в условиях оптимального распределения материалов имела место в течение продолжительного времени исследования. При этом было получено наилучшее использование восстановительной способности и физического тепла газов по сечению колошника, что обусловило низкий расход горючего.

Данные исследования по верхнему горизонту следует рассматривать как результативную работу газов, начиная от фурменных очагов горна и кончая упомянутым горизонтом. Исследования дают материал для суждения о контакте столба шихты в доменной печи с газовым потоком, что имеет решающее значение на работу печи и в условиях оптимального распределения материалов.

Ниже приводятся результаты исследования доменной печи, проведенные при оптимальном соотношении рудной сыпи, поступающей в периферийное и внутреннее кольца.

Пример первый. 2 июля 1939 г. доменная печь работала на сырых бакальских рудах, при колоше объемом 10,8 м³. На периферию шло 2200 кг руды, а во внутреннее кольцо — 900 кг, что составило 29,3% общего веса рудной сыпи в 3200 кг в колошу.

Температура нагрева дутья была 600° С. На 1 т чугуна расход руды 1,62 т, древесного угля — 5,65 м³, или 0,77 т, нелетучего углерода 522 кг. Металлических добавок в шихту не поступало.

Производительность доменной печи 163 т переделного чугуна с содержанием кремния 0,31% и марганца 1%. Время пребывания шихты 4,7 часа, а коэффициент использования полезного объема печи 1,19 м³/т.

На фиг. 206 а, б, в приведены результаты исследования доменной печи № 3 на верхнем горизонте из отверстия № 2 при работе последней медленным ходом, с подачей примерно 1/6 нормального количества дутья, что имело место в течение около двух часов.

Содержание углекислоты получилось высокое, несмотря на то, что доменная печь работала на сырых бакальских рудах. У стенки печи содержание углекислоты доходило до 24% и примерно на этом же уровне держалось на кольце шириной около 1 м от стенки печи. В дальнейшем содержание углекислоты постепенно падало, доходя у оси печи до 16,5%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа получился высокий — 94%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 22,56%. Указанные результаты в отношении использования восстановительной способности газа при медленном ходе доменной печи являются весьма хорошими. При этом содержание углекислоты в газе процент непрямого восстановления был несколько выше, чем 100%, что объясняется развитием реакции Белля. Результаты, полученные при медленном ходе в отношении использования восстановительной способности газов, значительно превосходят известные по литературе и указанные ранее результаты работы шведских доменных печей.

На фиг. 206 г, д приведен состав газов в отношении содержания углекислоты на верхнем горизонте из отверстия № 3 при исследовании, проведенном в тот же день. Содержание углекислоты в газе по сечению колошника колебалось по горизонту от 12 до 10%. Коэффициент использования восстановительной способности газов равнялся 92%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 11,04%.

При указанном выше благоприятном использовании восстановительной способности газового потока по всему сечению доменной печи были получены в этот день весьма хорошие результаты при работе на сырой бакальской руде в отношении расхода горючего, который составил всего 5,65 м³, или 0,77 т/м чугуна.

Расход нелетучего углерода равнялся 522 кг на тонну чугуна, что является лучшим результатом.

Весьма интересно, что указанные хорошие результаты в отношении расхода горючего были получены при направлении во внутреннее кольцо 29% рудной сыпи и при времени пребывания шихты в доменной печи 4,7 часа. Необходимо здесь же указать, что металлических добавок в шихту не было, но в этот день расходовалась богатая бакальская руда, хотя и небогатая.

Полученные цифры расхода горючего за этот день могут считаться характерными, потому что в течение суток при небольшом времени пребывания шихты в доменной печи 4,7 часа столб материалов обновлялся 5 раз.

Пример второй. 21 июля 1939 г. доменная печь работала на высокогорском полумартите, который шел на периферию в количестве 1800 кг, и на воронцовской руде, поступающей во внутреннее кольцо в количестве 850 кг, что составляло 32% всей рудной сыпи в колошу. Общее количество рудной сыпи в колошу 2650 кг при объеме колоши древесного угля 10,8 м³.

Производительность доменной печи 162 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,25% и марганца — 0,93%.

Время пребывания шихты в доменной печи равно 4,5 часа, и коэффициент использования полезного объема 1,20 м³/т. Нагрев дутья 616°.

Расход древесного угля за этот день 6,64 м³, или 0,89 т, расход нелетучего углерода составлял 612 кг, расход руды 1,67 т, металлических добавок 61 кг на тонну чугуна. В этот день доменная печь работала частично с недогрузом внутреннего кольца рудной сыпью, но значительную часть времени имело место оптимальное распределение материалов, о чем можно сделать заключение из приведенных ниже исследований.

На фиг. 206, *г*, *ж* графически изображены результаты исследования, проведенного в этот же день. При этом исследовании содержание углекислоты у стенки печи доходило до 14,7% и по направлению к оси доменной печи оно постепенно упало до 9,8%. Коэффициент использования восстановительной способности газа равнялся 92%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 13,4%. Как видно из приведенных данных, коэффициент использования восстановительной способности и среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования были высокие, что указывает на экономичную работу доменной печи. На основании приведенных данных можно сделать заключение, что характер кривой содержания углекислоты по сечению колошника соответствует оптимальному распределению материалов и оптимальному использованию восстановительной способности газа, не только тогда, когда эта линия является почти параллельной оси абсцисс, но и при некотором снижении содержания углекислоты по направлению к оси печи, которое правильнее следует рассматривать в площадных координатах с тем, чтобы учесть площадь, занятую тем или другим составом газа по сечению колошника.

Наиболее правильным критерием в отношении использования восстановительной способности газа будет коэффициент использования и среднее содержание углекислоты на горизонте, которые правильно оценивают работу газов на пути от горна доменной печи до горизонта.

Для сравнения результатов работы различных доменных печей на одних и тех же сырых материалах характерной цифрой считается рост содержания углекислоты на 1 м высоты печи от уровня фурмы исследуемого горизонта. Эта цифра будет оценивать интенсивность прохождения восстановительных процессов в доменной печи при работе ее в различных условиях в отношении расхода материалов, распределения рудной сыпи по сечению колошника и других факторов, влияющих на прохождение восстановительных процессов.

Пример третий. 28 июля 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию смеси высокогорских, гороблагодатских руд, преимущественно магнитных железняков, в количестве 1750 кг, а во внутреннее кольцо — азербайджанских и воронцовских руд в количестве 850 кг, что составляло 32,6% общей рудной сыпи в колошу объемом 10,8 м³. Производительность доменной печи в этот день 201 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,24% и марганца 0,75%. Время пребывания шихты в доменной печи 3,7 часа, а коэффициент использования полезного объема 0,97 м³/т.

На 1 т чугуна расход руды составлял 1,63 т, металлических добавок 60 кг, древесного угля 6,43 м³, или 0,87 т, нелетучего углерода 593 кг. Нагрев дутья 680° С.

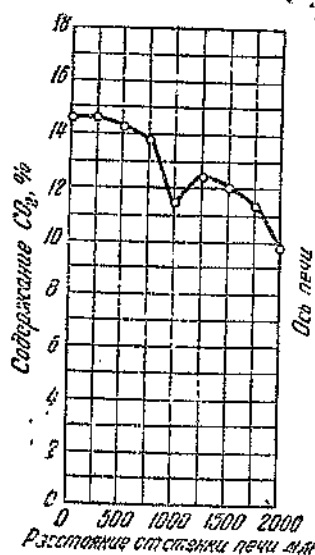
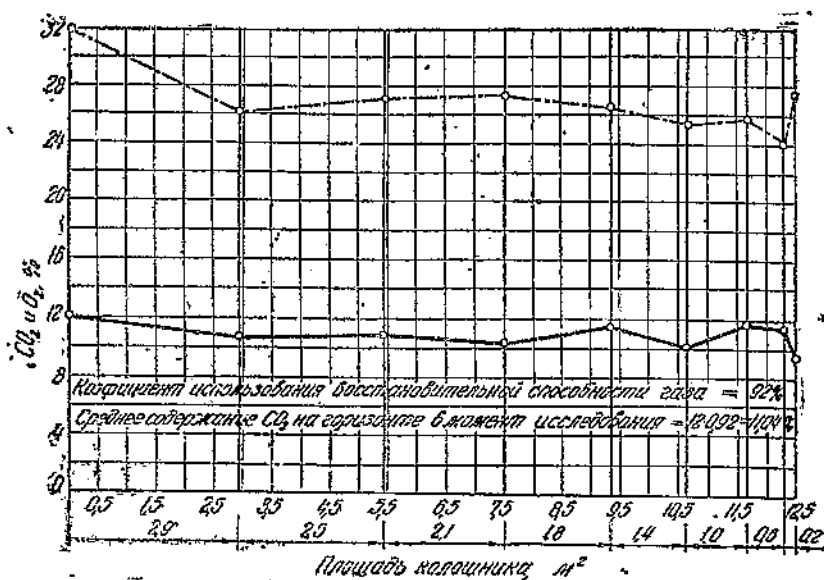
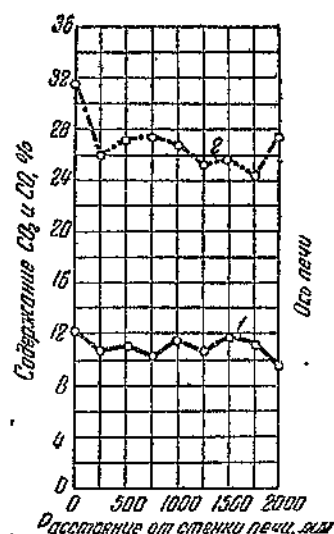
На фиг. 206, *з* графически изображено изменение содержания углекислоты в газовой фазе, температуры и статического давления поперечного сечения шахты на верхнем горизонте.

На фиг. 206, *и* приведен состав газа в отношении содержания углекислоты в площадных координатах, а на фиг. 206, *к* — температура газа на верхнем горизонте также в площадных координатах.

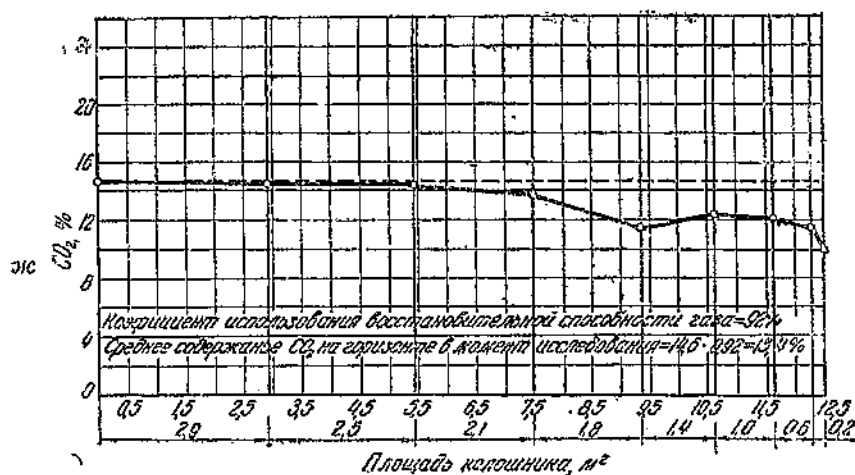
Рассматривая кривые содержания углекислоты, мы видим, что максимальное содержание ее имело место у стенки печи и равнялось 14,2%, на расстоянии 1,5 м по направлению к оси печи содержание углекислоты менялось в пределах от 12 до 14%, а дальше в том же направлении упало до 8%. Коэффициент использования восстановительной способности газа был высоким и составлял 93,5%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования было равно 13,2%. Такие результаты в отношении содержания углекислоты на горизонте при работе на древесном угле на доменной печи небольшой высоты и на горячие литейные чугуны нужно признать весьма хорошими.

Распределение температур по сечению печи довольно равномерное. Температуры на горизонте колебались в пределах от 260 до 325°, причем минимальная температура была в средней части радиуса, а максимальная на периферии и у оси печи. У стенки печи температура 200°, а у оси — 250°. Распределение температур можно считать очень хорошим, принимая во внимание работу доменной печи на горячие литейные чугуны.

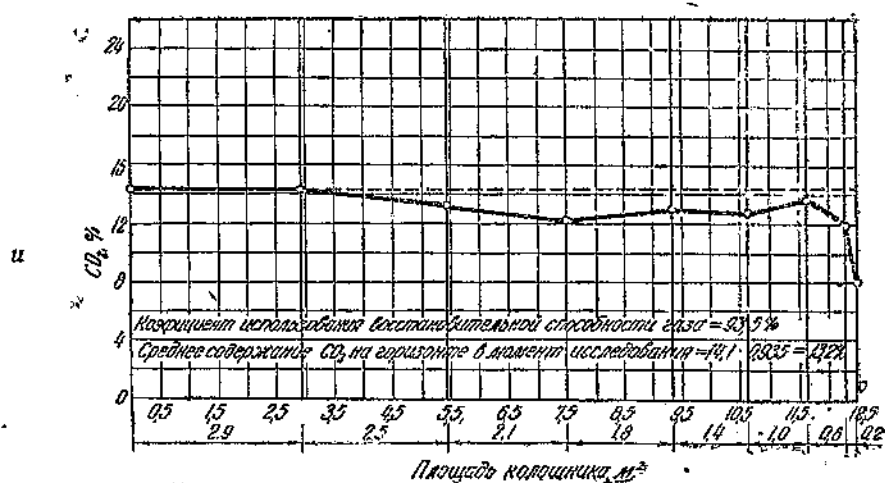
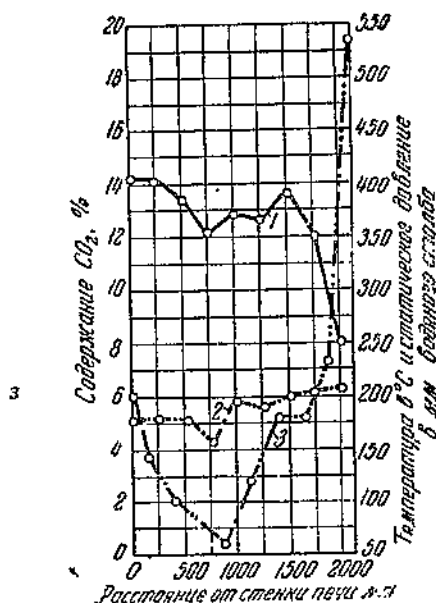
Расход горючего при работе на литейные чугуны, равный 6,43 м³, или 0,87 т/т чугуна, следует считать очень хорошим. Таких результатов не было получено на Урале не только на других древесноугольных печах, но также и на коксовых.

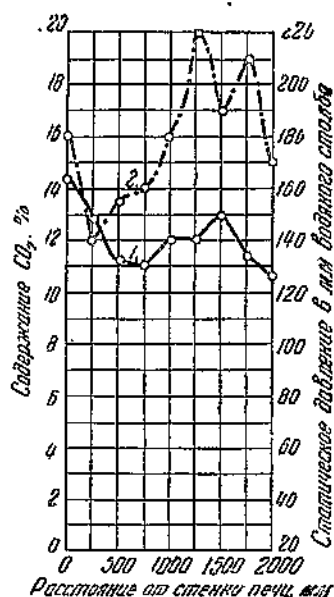
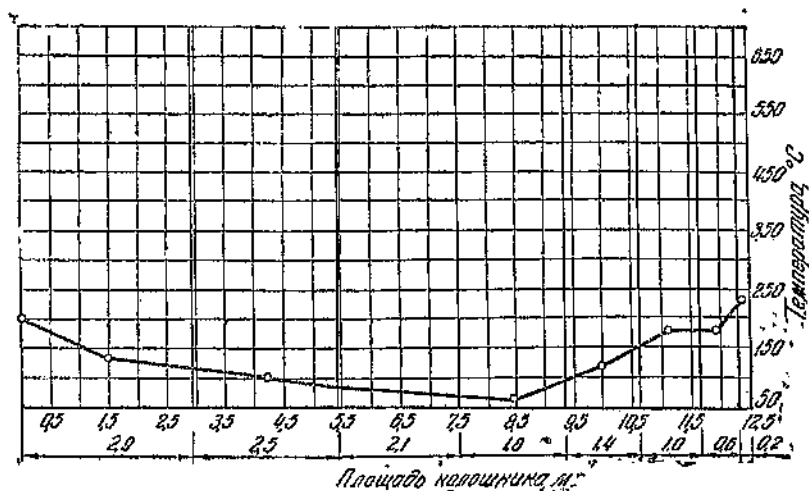


Фиг. 206: а — состав газа из отверстия № 3 от 2 июля 1939 г. в линейных координатах; б — состав газа из отверстия № 3 от 2 июля 1939 г. в площадных координатах; в — состав газа из отв. № 2 от 21 июля 1939 г. в лин. координатах.

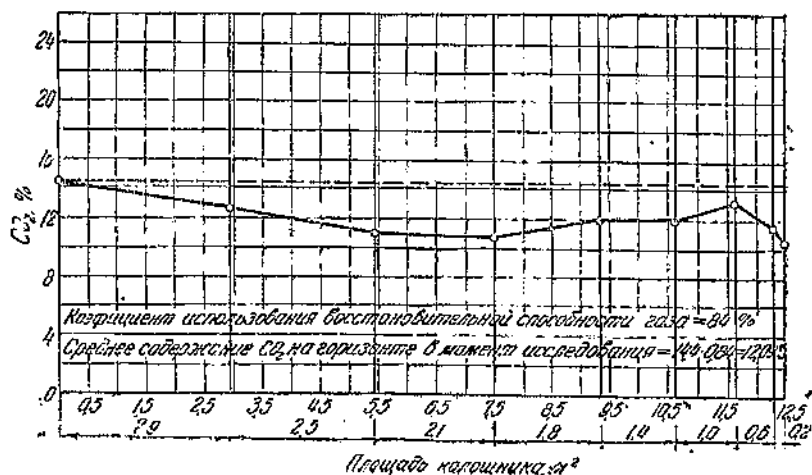


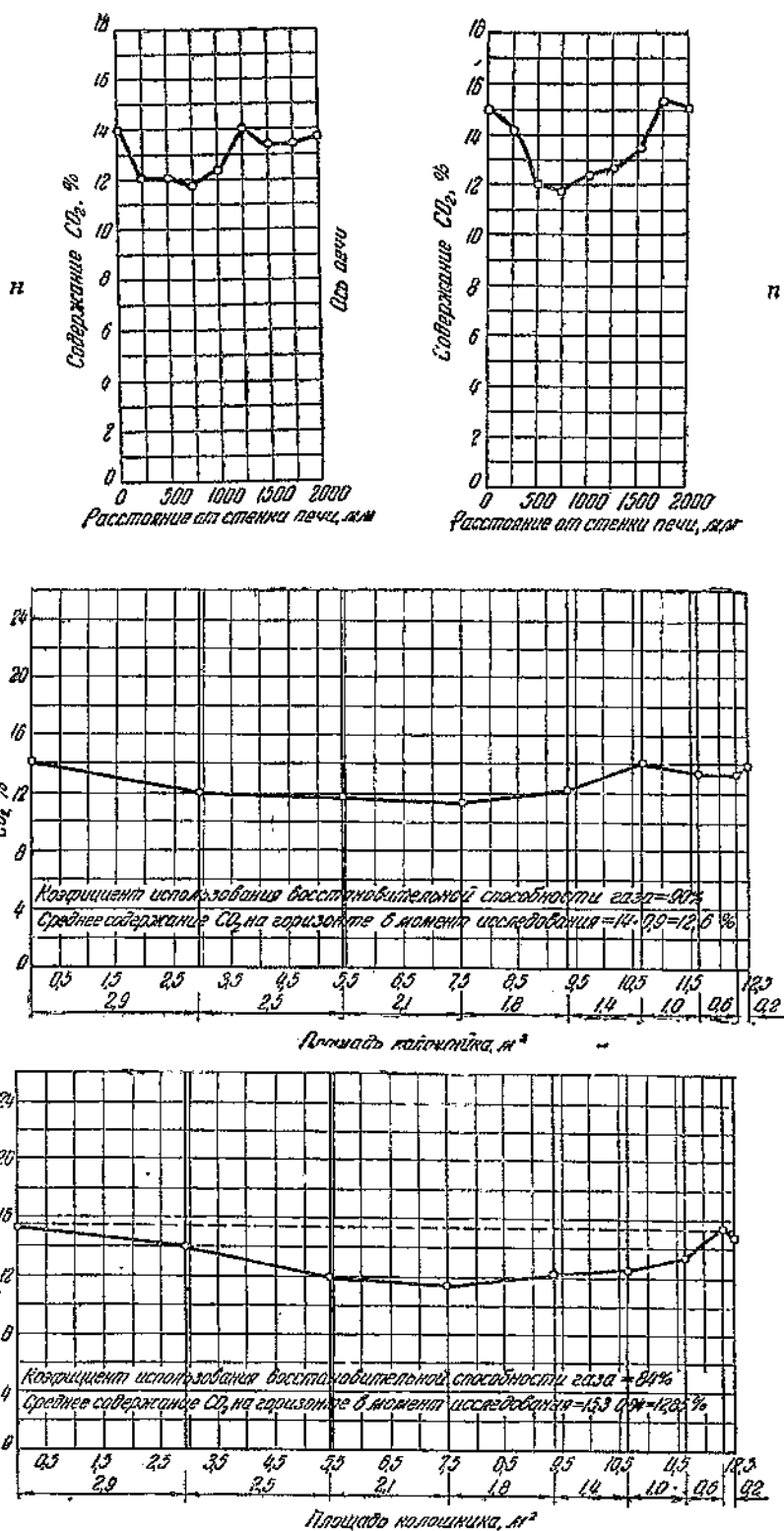
Фиг. 206: жс — состав газа из отверстия № 2 {от 21 июля 1939 г. в площадных координатах; з — состав газа, температура, статическое давление из отверстия № 2 от 28 июля 1939 г. в линейных координатах; и — состав газа из отверстия № 2 от 28 июля 1939 г. в площадных координатах.



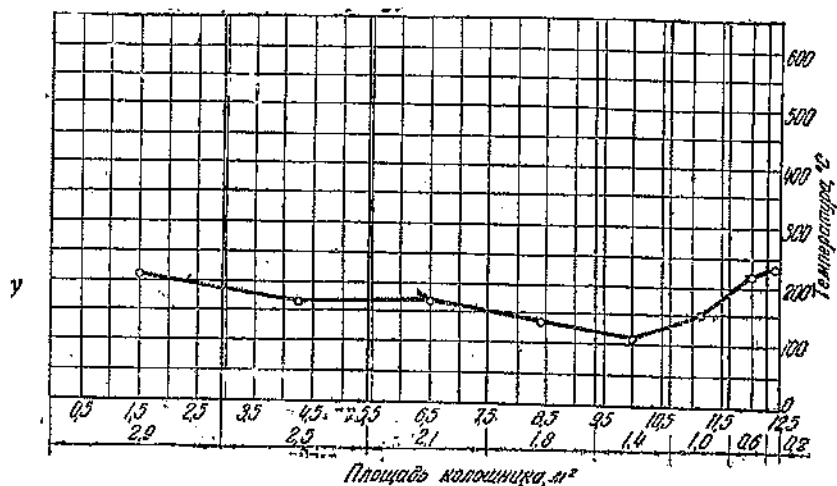
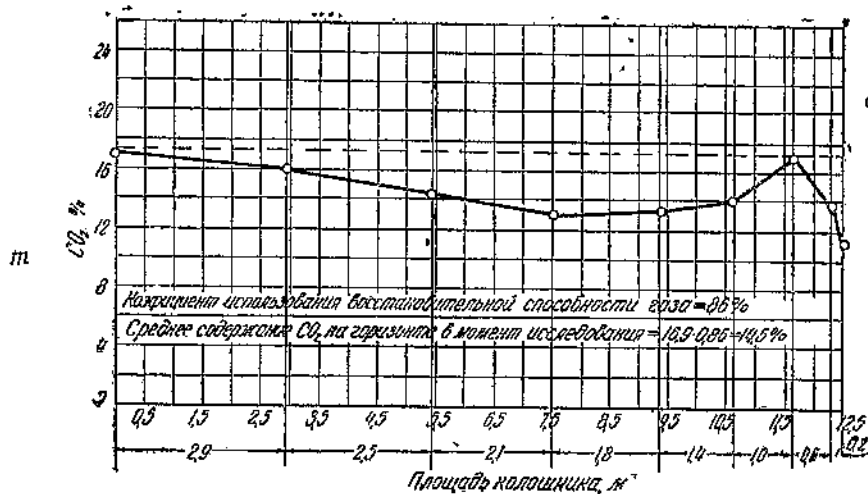
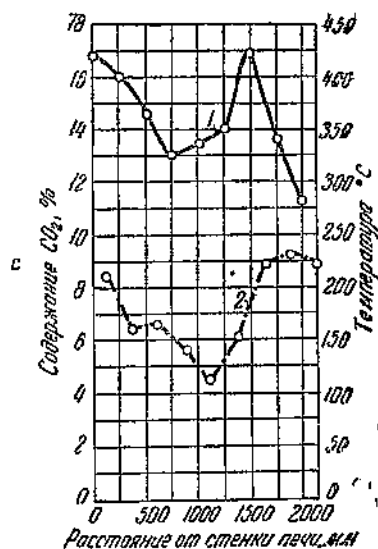


Фиг. 206: K — температура газа из отверстия № 2 от 28 июля 1939 г. в площадных координатах; L — состав газа и статическое давление из отверстия № 2 от 5 августа 1939 г. в линейных координатах; M — состав газа из отверстия № 2 от 5 августа 1939 г. в площадных координатах.





Фиг. 206: n — состав газа из отв. № 3 от 18 августа 1939 г. в линейных координатах; o — состав газа из отв. № 3 от 18 августа 1939 г. в площ. координатах; p — состав газа из отв. № 2 от 21 августа 1939 г. в лин. координатах; p — состав газа из отв. № 2 в площ. координатах;



Фиг. 206: с — состав газа и температуры из отверстия № 2 от 22 августа 1939 г. в линейных координатах; т — состав газа из отверстия № 2 от 22 августа 1939 г. в площ. координатах; у — температура из отв. № 2 в площ. координатах.

Производительность доменной печи была очень высокая, несмотря на выплавку литейных чугунов, и составляла 201 т в сутки, что давало коэффициент использования полезного объема 0,97 м³ на тонну чугуна.

Пример четвертый. 5 августа 1939 г. на периферию доменной печи шла ауэрбаховская руда в количестве 1360 кг и гороблагодатский полумартит в количестве 680 кг; во внутреннее кольцо поступала ауэрбаховская руда в количестве 900 кг, что составляло 30,6% от общего веса рудной сыпи 2940 кг в колошу объемом 10,8 м³.

На 1 т чугуна расход руды составлял 2,2 т, металлических добавок 31 кг, древесного угля 6,73 м³, или 0,90 т, нелетучего углерода 623 кг. Нагрев дутья был от 580 до 620° С. Производительность доменной печи составляла 187 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,94% и марганца 0,66%.

Время пребывания шихты равнялось 3,9 часа, а коэффициент использования полезного объема печи 1,04 м³ на тонну.

На фиг. 206, *д* и *и* приведены кривые состава газа и статического давления, а на фиг. 206, *м* — кривая содержания углекислоты в площадных координатах.

Рассматривая кривую содержания углекислоты, мы видим, что максимальное ее значение — 14,3% имеет место у стенки печи, в дальнейшем на расстоянии 750 мм это содержание углекислоты падает до 11%, а затем вновь поднимается и достигает 13% на расстоянии 1,5 м от стенки печи, после чего вновь падает, доходя у оси печи до 10,8%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа равен 84%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 12,09%.

Для работы на литейный чугун такое среднее содержание углекислоты на горизонте находящемся ниже на 2 м от уровня засыпи, следует считать высоким. Точно также и коэффициент использования восстановительной способности газа достаточно высокий, что и определило низкий расход горючего в 6,73 м³, или 622 кг нелетучего углерода на тонну чугуна при работе на очень горячие чугуны с содержанием кремния 1,94%.

Пример пятый. 18 августа 1939 г. доменная печь работала на колоше объемом 10,8 м³, с подачей на периферию гороблагодатского полумартита в количестве 1900 кг, а во внутреннее кольцо мытой высокотгорской руды 900 кг, что составило 32,1% от общего веса рудной засыпи в 2800 кг.

На 1 т чугуна расход руды равнялся 2,12 т, древесного угля — 5,98 м³, или 0,81 т, нелетучего углерода — 525 кг, металлических добавок — 67 кг. Нагрев дутья 650—700° С. Производительность доменной печи составляла 204 т передельного чугуна с содержанием кремния 0,49% и марганца 0,77%. Время пребывания шихты в печи равнялось 3,9 часа, а коэффициент использования полезного объема 0,955 м³/т.

На фиг. 206, *н* и *о* приведены диаграммы содержания углекислоты в литейных и площадных координатах, причем максимальное ее содержание у стенки печи равняется 14,0%, по направлению к оси доменной печи оно несколько падает, доходя до 12%, и на этом уровне держится на расстоянии до 0,75 м, затем поднимается до 14% на расстоянии 1,25 м и вновь падает у оси печи до 13,8%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа высокий и равняется 90%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 12,6%. Высокий коэффициент использования восстановительной способности газа, а также высокое среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования указывает на экономичность доменной плавки, которая характеризуется низким расходом древесного угля, составляющим всего 5,98 кг/м³, или 0,81 т/т чугуна.

Пример шестой. 21 августа 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию смеси ауэрбаховских и воронцовских руд в количестве 2050 кг; эта же смесь шла и во внутреннее кольцо в количестве 960 кг, которые составили 31,8% от общего веса рудной сыпи 3010 кг в колошу объемом 10,8 м³.

На 1 т чугуна расход руд составлял 2,41 т, расход металлических добавок 39 кг, древесного угля — 6,72 м³ или 0,90 т, нелетучего углерода 630 кг. Нагрев дутья был от 660 до 700°. Производительность доменной печи составляла 185 т валкового чугуна с содержанием кремния 0,95% и марганца 0,35%.

Время пребывания шихты в доменной печи было равно 3,9 часа, а коэффициент использования полезного объема 1,05 м³/т.

На фиг. 206, *п* и *р* приведен состав газа в отношении содержания углекислоты из отверстия № 2 на верхнем горизонте. Рассматривая диаграмму, видно, что максимальное содержание углекислоты равнялось 15% у стенки печи, по направлению к оси печи оно упало до 12% на расстоянии 0,5 м от стенки и затем вновь поднялось до 15,3% на расстоянии 1,75 м от стенки печи.

Коэффициент использования восстановительной способности газа достаточно высокий и составил 84%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования равнялось 12,84%.

Приведенные данные указывают на хорошую экономичность доменной плавки.

Пример седьмой. 22 августа 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию гороблагодатских полумартитов в количестве 1850 кг. Во внутреннее кольцо шла эта же руда, в количестве 850 кг, что составило 31,4% от общего веса рудной сыпи в 2700 кг на колошу объемом 10,8 м³.

На тонну чугуна расход руды составлял 2,25 т, металлических добавок 30 кг, древесного угля — 6,60 м³, или 0,89 т, нелетучего углерода 608 кг.

Производительность доменной печи была 182 т валкового чугуна с содержанием кремния 0,70% и марганца 0,77%.

Время пребывания шихты было 4,1 часа и коэффициент использования полезного объема 1,07 м³/т. Нагрев дутья 680—750° С.

На фиг. 206, с графически изображены состав газа и температура из отверстия № 2 по сечению печи.

На фиг. 206, т приведен состав газа в отношении содержания углекислоты в площадных координатах, а на фиг. 206, у — температура в тех же координатах. Рассматривая кривую содержания углекислоты, мы видим, что максимальное содержание последней имело место у стенки печи, где равнялось 16,9%, по направлению к оси доменной печи оно падало до 13% на расстоянии в 0,75 м, затем вновь поднималось, достигая 16,9% на расстоянии 1,5 м от стенки печи, и вновь падало у оси печи до 11,2%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа 86%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования — 14,5%, что указывает на экономичность доменной плавки. Что же касается температуры, то у стенки печи температура была порядка 210°, по направлению к оси печи до расстояния в 1,25 м температура падала до 110° и затем по направлению к оси доменной печи вновь поднялась до 225%. У стенки печи более высокие температуры совпадают с более высоким содержанием углекислоты в газе. Вместе с падением содержания углекислоты понижается и температура, но в центральной части печи максимальные температуры соответствуют минимальному содержанию углекислоты.

Падение температуры на расстоянии от стенки печи до 1,25 м указывает на то, что рудная сыпь здесь была в достаточном количестве, а пониженное содержание углекислоты на расстоянии от 0,5 м от стенки печи до 1,25 м при пониженных температурах от 160° до 150°, может быть объяснено только тем, что процессы восстановления вследствие пониженных температур шли менее интенсивно, чем у стенки печи, где температуры были более высокими.

Коэффициент использования восстановительной способности газа был высокий и равнялся 86%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 14,5%, что соответствует весьма экономичной работе доменной печи.

Кривая содержания углекислоты и кривая температур в площадных координатах указывают на хорошее использование восстановительной способности и физического тепла газов по горизонту в среднем.

Ввиду ясности вопроса ограничимся рассмотрением выше приведенных примеров.

Для сравнения результатов работы доменной печи в условиях оптимальной засыпи ниже приводится табл. 13.

Из данных исследования можно сделать следующие выводы:

1. При работе на сырых бакальских рудах на переделные чугуны минимальный расход горючего, полученный в условиях оптимальной засыпи, был достигнут при количестве рудной сыпи, направляемой во внутреннее кольцо в 29%. Расход горючего при этом составил 5,65 м³, или 0,77 т/т чугуна. Расход нелетучего углерода равнялся 522 кг, что превосходит результаты работы ряда доменных печей. Время пребывания шихты при этом было 4,7 часа, а коэффициент использования полезного объема 1,19 м³/т.

2. Наилучшие результаты с подачей во внутреннее кольцо воронцовской руды, а на периферию высокогорских полумартитов были получены при 32% рудной сыпи, направляемой во внутреннее кольцо. В таких условиях был получен расход горючего 6,64 м³, или 0,89 т/т литейного чугуна. Расход нелетучего углерода был 612 кг, что также превосходит результаты экономичной плавки многих доменных печей. Время пребывания шихты было 4,5 часа, а коэффициент использования полезного объема 1,2 м³ на тонну чугуна. Такого режима засыпи следует придерживаться при работе на литейный чугун, что обеспечит получение минимального в этих условиях расхода горючего.

3. При работе на литейные чугуны с подачей во внутреннее кольцо ауэрбаховских и воронцовских руд, а на периферию высокогорской и гороблагодатского магнитного железняка, минимальный расход горючего в 6,43 м³, или 0,87 т/т чугуна был получен при направлении во внутреннее кольцо 32,6% рудной сыпи. Расход нелетучего углерода при этом был всего 593 кг, что указывает на высокую экономичность доменной плавки.

Несмотря на работу на литейные чугуны, время пребывания шихты было всего 3,7 часа, а коэффициент использования полезного объема доменной печи 0,93. Приведенные результаты позволяют сделать заключение, что даже при трудно восстановимых рудах, но с подачей их на периферию и при направлении в центральную часть печи в оптимальном соотношении более легко восстановимых

Данные исследования в условиях оптимальной засыпи

Число, месяц	Общий расход руды, т/м чугуна	Расход метал- лических до- бавок на тон- ну чугуна, кг	Содействие кремния в чу- гуне, %	Кот-во сыпч., направл. во внутр. кольцо, %	Максимальное содержание углекислоты на горизонте ис- следования, %	Среднее со- держание углекислоты на горизонте ис- следования, %	Использова- ние восстано- вительной спо- собности газа, %	Расход торю- щего в м ³ /т чугуна	Расход торю- щего, т/м чу- гуна	Расход целло- зучего углеоро- да, кг	Коэффициент использования полезного объема домен- ной печи	Время пребы- вания шихты, часы
2 июля	1,62	нет	0,31	29,0	24,6	22,56	94	5,65	0,77	522	1,19	4,7
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовской руды, а на периферию высокогорского полумарта												
21 июля	1,67	61	1,29	32,0	14,3	13,00	91	6,64	0,89	612	1,20	4,5
Работа с подачей во внутреннее кольцо ауэрбаховских и воронцовских руд, а на периферию высокогорского и гороблагодатского магнитного железнняка												
28 июля	1,63	60	1,24	32,6	14,1	13,20	93,5	6,43	0,87	593	0,97	3,7
Работа с подачей во внутреннее кольцо ауэрбаховских руд, а на периферию смеси ауэрбаховской руды и гороблагодатского полумарта												
5 авгу- ста	2,20	31	1,94	30,6	14,4	12,09	84	6,73	0,90	622	1,04	3,9
Работа с подачей во внутреннее кольцо высокогорской мытой руды, а на периферию гороблагодатских полумартинов												
18 авгу- ста	2,12	67	0,49	32,1	14,0	12,60	90	5,98	0,81	552 ₁	0,96	3,9
Работа с подачей во внутреннее кольцо смеси ауэрбаховских и воронцовских руд, а на периферию гороблагодатских полумартинов												
21 авгу- ста	2,41	39	0,95	31,8	15,3	12,85	84	6,72	0,90	618	1,05	3,9
Работа на гороблагодатских полумартивах												
22 авгу- ста	2,25	30	0,70	31,4	16,9	14,5	86	6,60	0,89	608	1,07	4,1

руд, можно получить исключительно хорошие результаты как в отношении производительности доменной печи, так и в отношении расхода горючего, при небольшом времени пребывания шихты.

4. При работе на литейные чугуны с подачей во внутреннее кольцо ауэрбаховских руд, а на периферию смеси ауэрбаховской руды и гороблагодатского полумартита, наилучшие результаты в отношении расхода горючего $6,73 \text{ м}^3$, или $0,90 \text{ т/т}$ чугуна, были получены при направлении во внутреннее кольцо $30,6\%$ рудной сыпи, что и следует рекомендовать для работы в таких условиях.

5. При работе на передельный чугун с подачей во внутреннее кольцо высокогорской мытой руды, а на периферию гороблагодатских полумартитов наилучшие результаты в отношении расхода горючего, которые характеризуются расходом $5,98 \text{ м}^3$, или $0,81 \text{ т/т}$ чугуна, были получены при направлении во внутреннее кольцо $32,1\%$ рудной сыпи. Время пребывания шихты при этом $3,9$ часа, а коэффициент использования полезного объема доменной печи $0,96 \text{ м}^3$ на тонну, что указывает на весьма большую форсировку доменной плавки и подтверждает возможность такой работы в условиях проплавки трудновосстановимых руд с получением небольшого расхода горючего.

6. Работа доменной печи на литейные чугуны с невысоким содержанием кремния с подачей во внутреннее кольцо смеси ауэрбаховских и воронцовских руд, а на периферию гороблагодатских полумартитов характеризуется минимальным расходом горючего в $6,72 \text{ м}^3$, или $0,90 \text{ т/т}$ чугуна, при направлении во внутреннее кольцо $31,8\%$ рудной сыпи. Время пребывания шихты при этом было небольшое — $3,9$ часа, а коэффициент использования полезного объема — $1,05 \text{ м}^3/\text{т}$. Руда проплавлялась бедная с расходом $2,41 \text{ т}$ при количестве металлических добавок 39 кг на тонну чугуна. Приведенные результаты следует считать весьма хорошими.

7. При работе доменной печи на гороблагодатских полумартитах минимальный расход горючего в $6,6 \text{ м}^3$, или $0,89 \text{ кг}$, был получен при направлении во внутреннее кольцо $31,4\%$ рудной сыпи. Руда при этом проплавлялась бедная с расходом $2,25 \text{ т}$ при количестве металлических добавок 30 кг на тонну чугуна. Время пребывания шихты $4,1$ часа, коэффициент использования полезного объема доменной печи $1,07 \text{ м}^3$.

В условиях оптимальной засыпи при работе на бедных, но легковосстановимых рудах оказалось возможно получение при выплавке передельных чугунов расхода нелетучего углерода 522 кг при небольшом времени пребывания в шихте печи $4,7$ часа и коэффициенте использования полезного объема доменной печи $1,19 \text{ м}^3/\text{т}$.

При работе на более богатых, но трудновосстановимых рудах, в виде гороблагодатских полумартитов, также возможен низкий расход горючего 608 кг нелетучего углерода на тонну чугуна при времени пребывания шихты в доменной печи $4,1$ часа и коэффициенте использования полезного объема доменной печи $1,07 \text{ м}^3$ на тонну передельного чугуна.

Особенно благоприятна для работы доменной печи подача богатых трудновосстановимых руд, в виде высокогорских и гороблагодатских магнитных железняков и полумартитов на периферию, а во внутреннее кольцо более бедных, но легковосстановимых ауэрбаховских и воронцовских руд. В таких условиях даже при выплавке литейных чугунов с содержанием кремния $1,24\%$ получается расход нелетучего углерода 593 кг на тонну чугуна при очень небольшом времени пребывания шихты — $3,7$ часа и коэффициенте использования полезного объема доменной печи $0,97 \text{ м}^3$ на тонну суточной производительности.

При ухудшении восстановимости руд, направляемых на периферию, можно увеличивать количество легковосстановимой руды, направляемой во внутреннее кольцо с выгодой в отношении расхода горючего.

Приведенное в таблице количество рудной сыпи, направляемой во внутреннее кольцо, следует считать наиболее целесообразным при данных условиях доменной плавки.

§ 22. Распределение материалов и работа газов над чугунной леткой

Многие исследователи (Кинни, акад. М. А. Павлов и др.) наблюдали в области чугунной летки усиленный сход материалов, что приводит к лучшей проницаемости. Разрыхление материалов обуславливает увеличенные скорости потока газов в этой области по сечению печи. При выпусках продуктов плавки из горна доменной печи через чугунную летку усиленный сход материалов наблюдается потому, что в области чугунной летки они сходят не только в результате освобождения объема в фурменных очагах от выгорания углерода за счет нагретого дутья, но также и вследствие освобождения объема горна от чугуна и шлака, что в первую очередь происходит в области летки. Сопротивление столба шихты проходу газов при разрыхлении материалов уменьшается, вследствие чего в фурмы, находящиеся в области чугунной летки, поступает большее количество дутья и через эту область столба шихты идет и большее количество горновых газов, поднимающихся кверху.

В древесноугольных доменных печах явление усиленного хода газов в области чугунной летки не было объектом исследования, но можно полагать, должно наблюдаться в большей степени по сравнению с коксовой доменной печью вследствие малой высоты древесноугольных печей и хорошей проницаемости столба шихты. Небольшое улучшение проницаемости в отдельных частях столба шихты влечет за собой изменение газового потока в сторону усиленного хода их по направлению в места с наименьшим сопротивлением проходу.

Древесноугольные доменные печи очень чувствительны к изменению распределения материалов, газовый поток в древесноугольных доменных печах весьма быстро реагирует на всякое изменение проницаемости столба шихты в доменной печи по ее поперечному сечению.

Наблюдения над составом газа и температурой в области чугунной летки на верхнем горизонте производились из отверстия № 1, расположенного непосредственно над осью чугунной летки.

Ниже рассматриваются результаты некоторых отдельных исследований.

Пример первый. 22 июня 1939 г. доменная печь работала на сырой бакальской руде с угольной колешей объемом 10,80 м³. Рудной сыпью было 3100 кг, причем во внутреннее кольцо поступало 19,3%. Нагрев дутья 500—600°. Производительность доменной печи была 155 т передельного чугуна, с содержанием кремния 0,82% и марганца 1,64%. Время пребывания шихты 3,9 часа.

Коэффициент использования полезного объема печи 1,26 м³/т. На 1 т чугуна расход руды был 1,90 кг, древесного угля 7,28 м³, или 0,98 т, нелетучего углерода 660 кг, металлических добавок в шихту не поступало.

На фиг. 207, а, б и в приведен состав газа в отношении содержания углекислоты на верхнем горизонте. Из анализа видно, что характер распределения материалов был в виде двух обособленных колец рудной сыпи, причем по направлению к стенке печи был откос, на существование которого указывает некоторое снижение содержания углекислоты у стенки печи. Максимальное содержание углекислоты достигало 15,7%, а минимум, соответствующий выклиниванию периферийной рудной лизы, находился на расстоянии 1 м. Здесь содержание углекислоты было 4,9%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа равнялся 62%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 9,7%.

Пример второй. 6 июля 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию высокогорской и гороблагодатской руды в количестве 1700—1800 кг, а во внутреннее кольцо — воронцовской руды в количестве 800—850 кг, что составило от 31 до 33,3% от общего веса рудной сыпи в колешу 2550—2600 кг объемом 10,8 м³.

Расход руды высокий — 2,8 т, а расход стружки — 34 кг на тонну чугуна. Нагрев дутья 653°. Производительность доменной печи, вследствие продолжительной остановки в этот день, была небольшая — 85 т горячего передельного чугуна с содержанием кремния 1,25% и марганца 1,35%. Время пребывания шихты 7 час. Коэффициент использования объема доменной печи был 2,3 м³/т. Расход древесного угля в этот день составлял 7,4 м³, или 0,99 т/т чугуна. Расход нелетучего углерода 682 кг на тонну чугуна. Повышение расхода горючего объясняется мокрым углем, который шел на доменную печь вследствие периода ливней и, кроме того, подготовкой доменной печи к остановке.

На фиг. 207, г приведен состав газа в отношении содержания углекислоты на верхнем горизонте над чугунной леткой. Характер кривой выявляет резко выраженную обособленность рудной сыпи периферийного и внутреннего колец, чему в этот день способствовала подача в доменную печь сильно увлажненной руды, которая хорошо не рассыпалась по сечению колешника.

Коэффициент использования восстановительной способности газа низок и равен всего 59%. Максимальное содержание углекислоты в газе довольно высокое и составляет 16% на расстоянии 1,75 м от стенки печи, т. е. почти у оси доменной печи. Среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования низкое и равно 9,4%. Можно констатировать, что и здесь среднее содержание углекислоты на горизонте много ниже, чем в других частях доменной печи, где оно равнялось от 11,0 до 11,7%.

Пример третий. 10 июля 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию смеси высокогорской и гороблагодатской руды в виде полумартитов и мытых магнитных железняков, которые шли в количестве 1900 кг в колошу. Во внутреннее кольцо поступала смесь воронцовской и ауэрбаховской руды в количестве 800 кг в колошу, что составляло 29,63% от общего веса рудной сыпи 2700 кг в колошу объемом 10,8 м³.

На 1 т чугуна расход руды составлял 1,82 т, металлических добавок 61 кг, древесного угля 7,17 м³, или 0,96 т, нелетучего углерода 660 кг. Нагрев дутья был 642°. Производительность доменной печи за этот день составляла 153 т горячего литейного чугуна с содержанием кремния 2,01% и марганца 1,19%. Время пребывания шихты в доменной печи — 4,4 часа.

Коэффициент использования полезного объема доменной печи 1,27 м³/т.

На фиг. 207, д приведен состав газа в отношении содержания углекислоты по сечению колошника на верхнем горизонте над чугуновой леткой. Анализ газа показывает обособленность засыпи периферийного и внутреннего колец рудной сыпи, что наблюдается и в других частях доменной печи. Максимальное содержание углекислоты у стенки печи равно 13,19%, минимум содержания углекислоты находится на расстоянии 1 м от стенки печи.

Коэффициент использования восстановительной способности газа составлял 89%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования доходило до 11,65%.

Пример четвертый. 18 июля 1939 г. на периферию доменной печи шел высокогорский полумартит в количестве 1950 кг, а во внутреннее кольцо — ауэрбаховская руда в количестве 900 кг, составлявших 31,57% от общего веса рудной сыпи в 2850 кг в колошу объемом 10,8 м³.

На 1 т чугуна расход руды в этот день был равен 1,89 т, древесного угля 7,2 м³, или 0,97 т, нелетучего углерода 663 кг, металлических добавок 28 кг. Нагрев дутья 566°. Производительность доменной печи в этот день равнялась 146 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,6% и марганца 1,05%. Время пребывания шихты в доменной печи — 4,4 часа.

Коэффициент использования полезного объема доменной печи 1,33 м³/т.

На фиг. 207, е приведен состав газа в отношении содержания углекислоты на верхнем горизонте над чугуновой леткой. Характер кривой состава газа указывает на обособленность засыпи периферийного и внутреннего колец и на некоторую перегрузку рудной сыпью внутреннего кольца, что характеризуется максимальным содержанием углекислоты у оси печи, равным 15,4%, в то время как содержание углекислоты у стенки печи равняется 11,8%. Минимальное содержание углекислоты в месте выклинивания периферийного кольца равняется 3,5%, что имеет место на расстоянии 0,75 м от стенки печи.

Коэффициент использования восстановительной способности газа низок и равен всего 53%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования — 8,1%.

Пример пятый. 21 июля 1939 г. доменная печь работала на высокогорском полумартите, который шел на периферию в количестве 1800 кг, и воронцовской руде, поступающей во внутреннее кольцо в количестве 850 кг, составлявших 32% всей рудной сыпи 2650 кг в колошу объемом 10,8 м³. Производительность доменной печи была 162 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,29% и марганца 0,93%. Нагрев дутья 616°. Время пребывания шихты 6,5 часа.

Коэффициент использования полезного объема доменной печи 1,2 м³/т.

На 1 т чугуна расход древесного угля равнялся 6,64 м³, или 0,89 т, нелетучего углерода 612 кг, руды 1,67 т и металлических добавок — 61 кг.

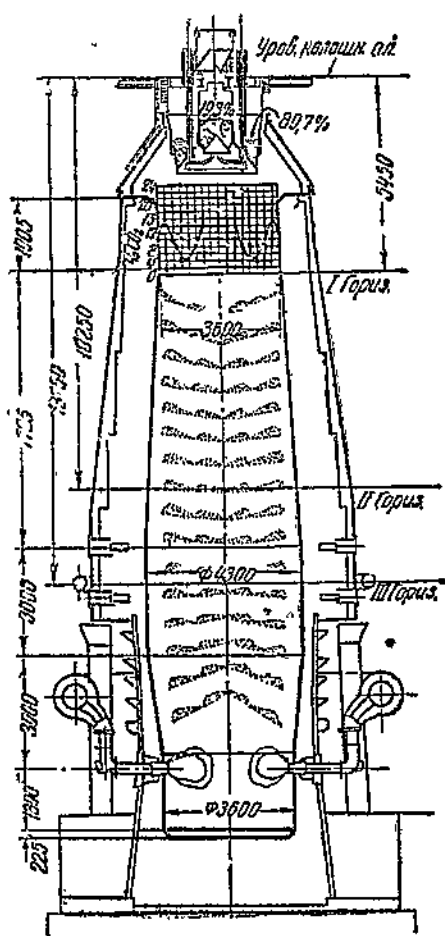
Исследование, проведенное в этот день над чугуновой леткой, показывает хорошую равномерность распределения материалов по сечению и составу газов. Данное исследование приведено на фиг. 207, ж. Обособленности засыпи периферийного и внутреннего колец здесь совершенно не наблюдается. Имеет место только небольшое снижение содержания углекислоты по направлению к оси доменной печи от максимального содержания в 11,3 до 10,2%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа очень высок и составляет 97%, среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования равно 10,9%, тогда как в других местах доменной печи оно равно 13,0%. Как видно из сравнения разница меньшая, чем в других случаях, объясняется тем, что в отдельное время работы доменной печи при хорошем распределении материалов, особенно сильного хода газов в области чугуновой летки может и не наблюдаться.

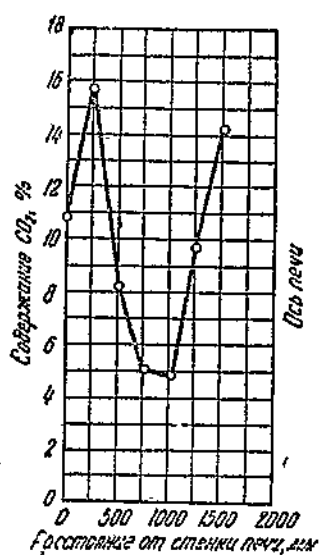
Пример шестой. 22 июля 1939 г. на периферию доменной печи поступал высокогорский полумартит в количестве 1900 кг, во внутреннее кольцо шла смесь воронцовских эфелей и ауэрбаховской кусковой руды в количестве 900 кг, что составило 32,14% от общего веса рудной сыпи в 2800 кг на колошу, объемом 10,8 м³.

На 1 т чугуна расход руды составлял 1,83 т, расход металлических добавок 94 кг, древесного угля (повышенный расход) — 8,17 м³, или 1,09 т, нелетучего углерода 725 кг. Нагрев дутья 673°. Производительность доменной печи 158 т литейного чугуна, с содержанием кремния 1,55% и марганца 1,04%. Время пребывания шихты составляло 3,8 час. Коэффициент использования полезного объема доменной печи был 1,23 м³/т.

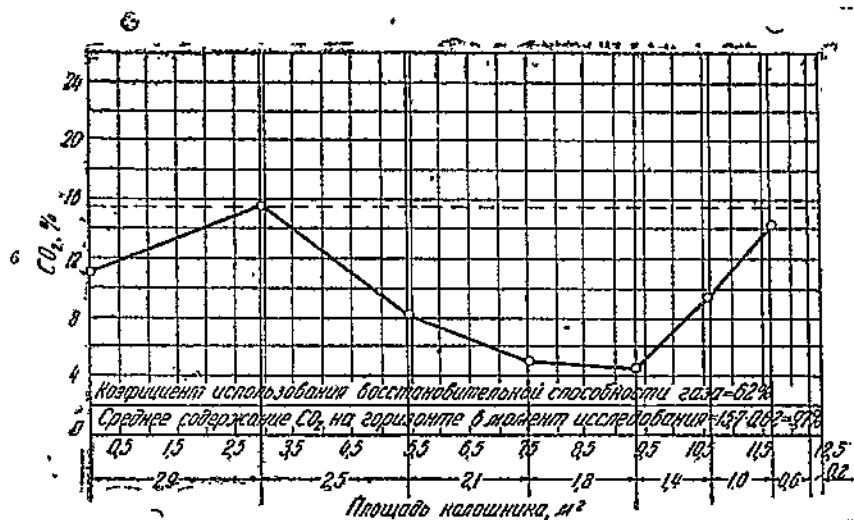
Из недостатков в работе доменной печи за этот день может быть отмечена подача во внутреннее кольцо значительного количества мелкой руды.



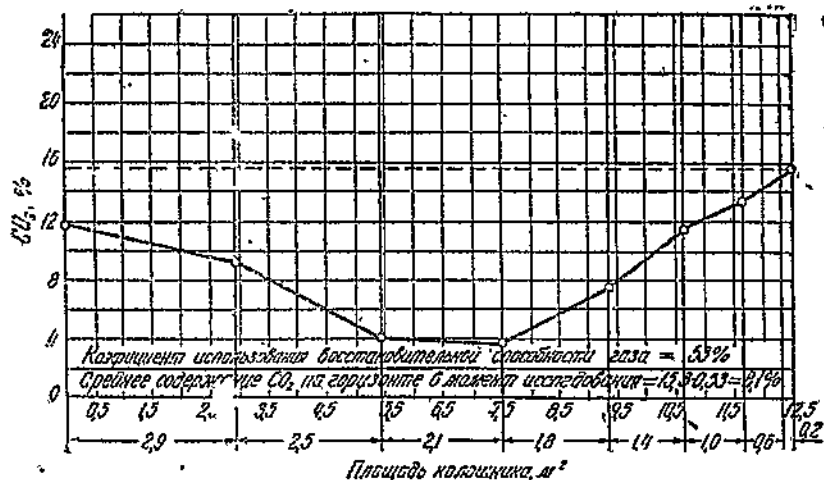
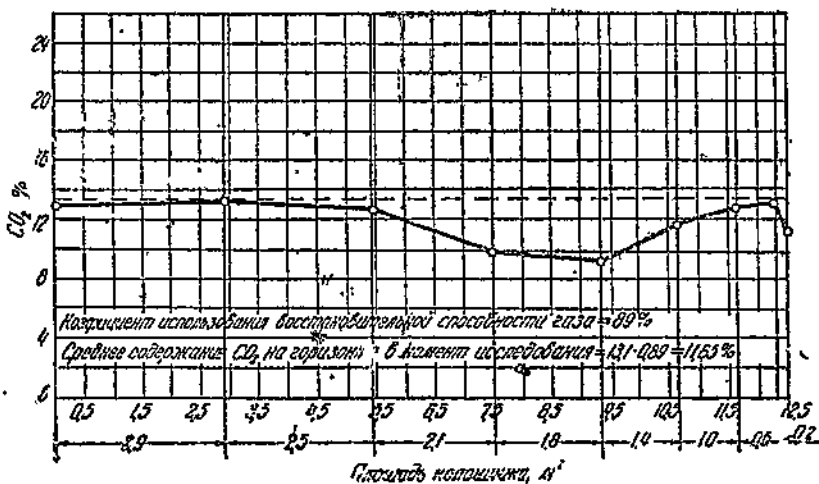
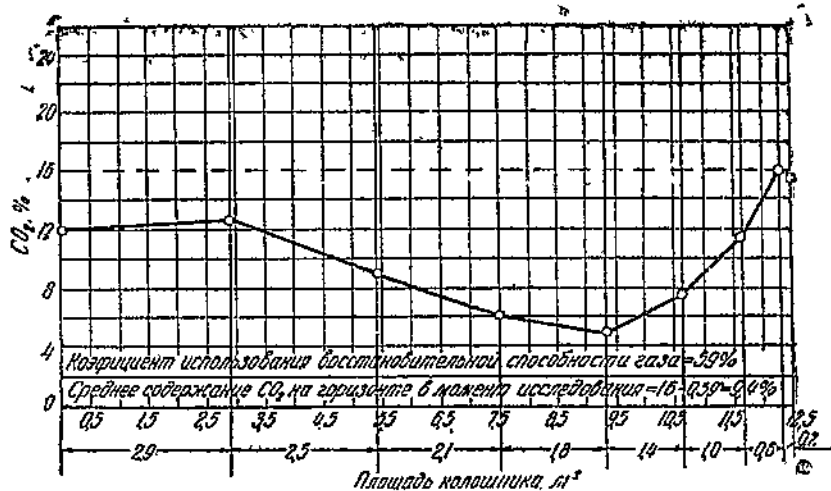
а



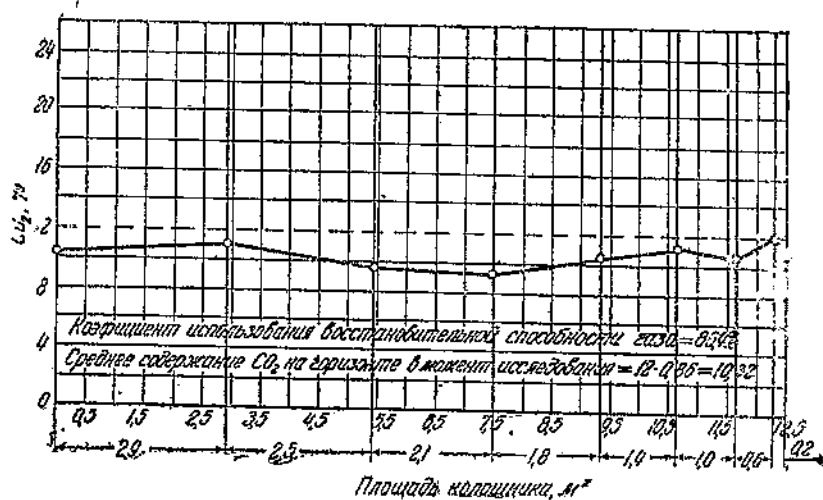
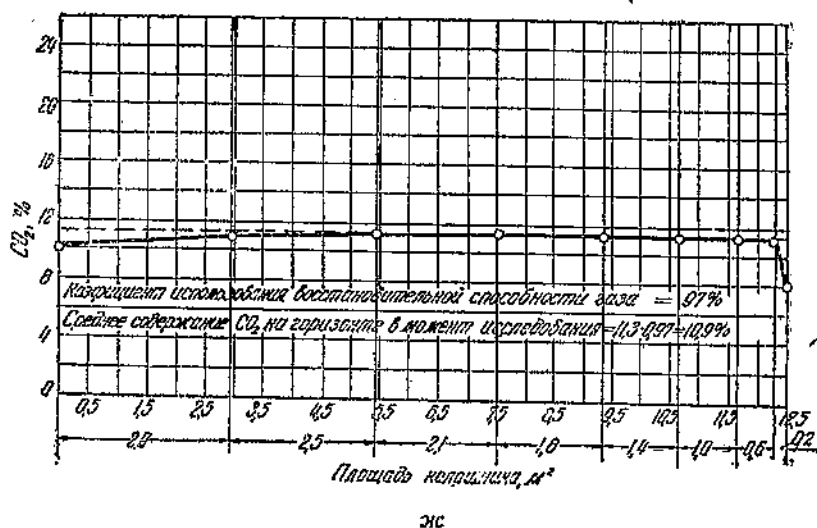
б



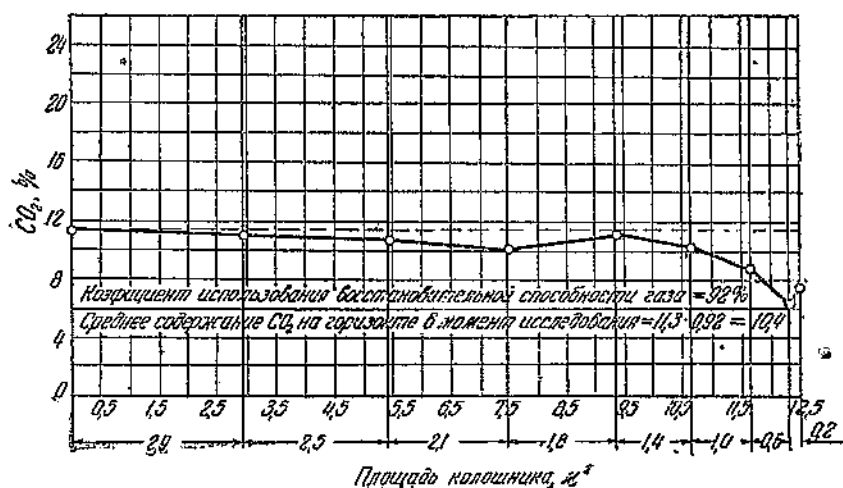
Фиг. 207. Диаграммы анализа газа на верхнем горизонте из отверстия № 1: а — разрез печи; б — состав газа от 22 июля 1939 г., в линейных координатах; в — состав газа от 22 июня 1939 г., в площадных координатах;



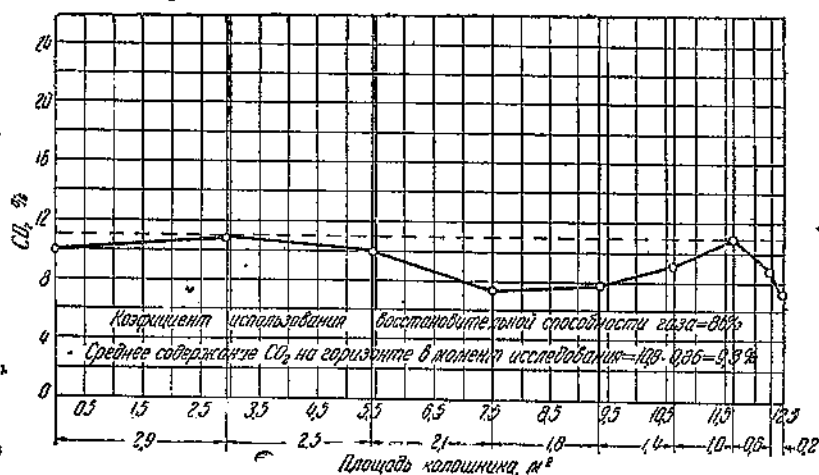
Фиг. 207: а — состав газа от 6 июля 1939 г. в площадных координатах; б — состав газа от 10 июля 1939 г. в площадных координатах; в — состав газа от 18 июля 1939 г. в площадных координатах;



Фиг. 207: ЖС — состав газа от 21 июля 1939 г. в площадных координатах;
 З — состав газа от 22 июля 1939 г. в площадных координатах;



и



Фиг. 207: и — состав газа от 23 июля 1939 г. в площадных координатах;
 к — состав газа от 24 июля 1939 г. в площадных координатах.

На фиг. 207, *а* приведен состав газа в отношении содержания углекислоты по сечению колошника на верхнем горизонте над чугунной леткой. Из диаграммы видно, что обособленности засыпи периферийного и внутреннего колец рудной сыпи в этот день над чугунной леткой не наблюдалось. Содержание углекислоты по сечению колошника было равномерным и колебалось в небольших пределах — от 9,6 до 12%, причем максимальное содержание углекислоты наблюдалось близко к оси доменной печи на расстоянии в 1,75 м от стенки печи, что указывает на перегруз рудной сыпью внутреннего кольца.

Коэффициент использования восстановительной способности газа был довольно высок и составлял 86,4%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования было 10,32% по сравнению с 12,2%, имевшимися в это время в других частях доменной печи на этом горизонте.

Пример седьмой. 23 июля 1939 г. на периферию доменной печи поступал высокогорский полумартинг в количестве 1800 кг, а во внутреннее кольцо — смесь ауэрбаховской и воронцовской руды в количестве 850 кг, что составляло 32,1% от общего веса рудной сыпи в 2650 кг на колошу объемом 10,8 м³.

Расход руды составлял 1,90 т, а расход металлических добавок 59 кг на тонну чугуна. Нагрев дутья 628°. Производительность доменной печи в этот день составляла 150 т литейного чугуна, с содержанием кремния 1,84% и марганца 0,99%. Время пребывания шихты в доменной печи 4,2 часа.

Коэффициент использования полезного объема доменной печи 1,3 м³/т.

Расход древесного угля 7,82 м³, или 1,05 т/т чугуна. Расход неметаллического углерода составлял 720 кг на тонну чугуна. Повышенный расход горючего в этот день объяснялся тем, что значительную часть времени доменная печь работала с перегрузкой внутреннего кольца рудной сыпью.

На фиг. 207, *и* приведен состав газа в отношении содержания углекислоты на верхнем горизонте над чугунной леткой. Из кривой состава газа, изображенной на диаграмме, можно видеть, что обособленности засыпи периферийного и внутреннего кольца не наблюдалось, но зато имело место снижение содержания углекислоты по направлению к оси доменной печи. Максимальное содержание углекислоты 11,3% находилось у стенки печи, а минимальное содержание 6,4% имело место на расстоянии 1,75 м, т. е. близко к оси печи.

Коэффициент использования восстановительной способности газа равнялся 92%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 10,4%, тогда как в других частях доменной печи оно равнялось 13,3%.

Пример восьмой. 24 июля 1939 г. на периферию доменной печи шла смесь высокогорской и гороблагодастской руды в количестве 1800 кг. Во внутреннее кольцо шла ауэрбаховская руда в количестве 850 кг, что составляло 32,1% общей рудной сыпи в 2650 кг в колошу объемом 10,8 м³.

Нагрев дутья 634°. Производительность доменной печи 166 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,52% и марганца 0,95%. На тонну чугуна расход руды составлял 1,90 т, металлических добавок 69 кг, древесного угля 7,58 м³, или 1,02 т, неметаллического углерода 693 кг.

Коэффициент использования полезного объема печи 1,17 м³/т. Время пребывания шихты — 3,9 часа.

На фиг. 207, *к* представлен состав газа на верхнем горизонте над чугунной леткой в отношении содержания углекислоты. Характер кривой показывает на обособленность засыпи периферийного и внутреннего колец рудной сыпи. Снижение содержания углекислоты по направлению к стенке печи очень небольшое. Максимальное содержание углекислоты в 10,8% наблюдается первый раз на расстоянии 0,5 м и второй — на расстоянии 1,5 м от стенки печи.

Коэффициент использования восстановительной способности газа довольно высок и равняется 86%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 9,3%, тогда как в других частях доменной печи 14,3%.

Сравнительные результаты исследований приведены в табл. 14.

Из рассмотрения данных таблицы в отношении содержания углекислоты на горизонте над чугунной леткой можно сделать заключение, что оно во всех случаях является пониженным, по сравнению с другими частями доменной печи. Вместе с тем коэффициент использования восстановительной способности газа иногда бывает довольно высокий, что указывает на хорошую равномерность распределения газов по сечению колошника по радиусу над чугунной леткой.

Чтобы не допустить пониженного использования восстановительной способности газов над чугунной леткой желательно понижать подачу дутья в фурму, расположенную над чугунной леткой, а для этой цели необходимо уменьшить ее диаметр.

§ 23. Распределение материалов и работа газов на среднем горизонте

Исследование состава газов на среднем горизонте доменной печи, находящемся на расстоянии 7,65 м ниже уровня засыпи, или 10,25 м ниже уровня колош-

Число, месяц	Общий расход руды, т/м чугуна	Расход металлических дозавок на тонну чугуна, кг	Содержание кремния в чугуне, %	Кол-во сыпучих материалов, в направлении, в %	Максимальное содержание углекислоты в момент исследования, %	Среднее содержание углекислоты в момент исследования, %	Использование востановочных газов, %	Расход горючего в а/м на тонну чугуна	Расход горючего, т/м чугуна	Расход налетучего углерода, кг/т	Коэффициент использования поперечного объема доменной печи, %	Время пребывания шихты, часы
22 июля	1,90	нет	0,82	19,3	15,7	9,7	62	7,28	0,98	662	1,26	3,9
Работа с подачей во внутреннее кольцо поронцовской руды, а на периферию высокогорской и гороблагодатской												
6 июля	2,8	34	1,25	31—33,3	16	9,4	59	7,4	0,99	682	2,30	7,0
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовской и ауэрбаховской руды, а на периферию высокогорских и гороблагодатских полумартитов и магнитных железняков												
10 июля	1,82	61	2,01	29,63	13,1	11,65	89	7,17	0,96	660	1,27	4,4
Работа с подачей во внутреннее кольцо ауэрбаховской руды, а на периферию высокогорского полумартита												
18 июля	1,89	28	1,6	31,57	15,4	8,1	53	7,2	0,97	663	1,33	4,4
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовской руды, а на периферию высокогорского полумартита												
21 июля	1,67	61	1,29	32	10,8	9,72	90	6,64	0,89	612	1,20	4,5
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовских эфелей и ауэрбаховской кусковой, а на периферию высокогорского полумартита												
22 июля	1,83	94	1,55	32,14	12	10,32	86,4	8,17	1,09	752	1,23	3,8
Работа с подачей во внутреннее кольцо ауэрбаховской и воронцовской руды, а на периферию высокогорского полумартита												
23 июля	1,90	59	1,84	32,1	11,3	10,4	92	7,82	1,05	720	1,30	4,2
Работа с подачей во внутреннее кольцо ауэрбаховской руды, а на периферию высокогорской и гороблагодатской												
24 июля	1,91	69	1,52	32,1	10,8	9,3	86	7,58	1,02	698	1,17	3,9

никовой площадки, или 8,5 м от оси воздушных фурм, имело своей целью установить, получается ли при сходе материалов отход рудной сыпи от стенки печи при большом угле наклона шахты, который был равен на этой печи $87^{\circ}30'$.

Поскольку рудная сыпь, ввиду ее значительно большего веса по сравнению с древесным углем, сходит вертикально, не перемещаясь в горизонтальном направлении, то естественно ожидать некоторого, хотя и небольшого, отхода ее от стенки печи на среднем горизонте, что должно было сказаться на составе газа в отношении содержания углекислоты.

С другой стороны, вследствие образования горновых газов на периферии в зоне фурменных очагов, естественно их стремление идти около стенки печи. Это обстоятельство даже в том случае, если отход рудной сыпи от стенки печи и не наблюдался бы, не может не оказать своего влияния на снижение содержания углекислоты около стенки печи.

Вследствие указанных выше причин содержание углекислоты у стенки печи, по сравнению с другими частями печи, находится под влиянием упомянутых двух факторов: отхода рудной сыпи и усиленного хода газов около стенки печи.

Пример первый. 26 июня 1939 г. доменная печь работала на сырой бакальской руде, поступающей во внутреннее кольцо в количестве 30% от общего веса рудной сыпи 3110 кг в ковшу, объемом 10,8 м³. Металлических добавок в шихту не поступало.

Расход руды равнялся 2,02 т/т чугуна. Нагрев дутья был 650° . Производительность доменной печи равнялась 139 т передельного чугуна, с содержанием кремния 0,58% и марганца 1,86%. Время пребывания шихты составляло 4,4 часа.

Расход древесного угля за этот день был равен 7,03 м³, или 0,95 т, нелетучего углерода 637 кг на тонну чугуна.

На фиг. 208, а, б, в представлен состав газа из отверстия № 1, находящегося над чугунной леткой, в отношении содержания углекислоты на среднем горизонте по сечению колошника. Как показывает кривая, содержание углекислоты было максимальным у стенки печи, где оно равнялось 14%. По направлению к оси доменной печи оно падало и на расстоянии в 1,0 м от стенки печи снижалось до 10,5%.

Коэффициент использования восстановительной способности газа, на том участке, который был подвергнут исследованию, составлял 83%, что следует считать высоким при максимальном содержании углекислоты на горизонте в 14% и при среднем содержании ее в момент исследования по горизонту в 11,6%. Состав газа по сечению колошника на среднем горизонте, полученный в данный момент, указывает на то, что при крутом угле наклона шахты в $87^{\circ}30'$ не получается отхода рудной сыпи от стенки печи и на среднем горизонте отсутствует периферийный ход газов.

Здесь интересно отметить, что при работе на сырых бакальских рудах на доменной печи № 3 Серовского завода на среднем горизонте, находящемся над осью воздушных фурм на расстоянии 8,5 м, содержание углекислоты по горизонту было выше, чем на верхнем горизонте Ашинской печи № 2, находящемся на уровне 12,1 м над осью воздушных фурм.

Осадки на доменной печи № 3 Серовского завода являются редким явлением, и таким образом упомянутый крутой угол наклона шахты не имеет заметного влияния на сход материалов, но одновременно с этим оказывает весьма положительное действие на устранение периферийного хода газов.

Пример второй. 28 июня 1939 г. доменная печь работала на сырых бакальских рудах, которых во внутреннее кольцо шло в количестве 29,4% от общего веса рудной сыпи в 3300 кг в ковшу объемом 10,8 м³. Металлических добавок в шихту не поступало.

Расход руды составлял 2,06 т/т чугуна. Нагрев дутья был $600-650^{\circ}$. Производительность доменной печи за этот день достигала 179 т передельного чугуна, с содержанием кремния 0,84% и марганца 1,88%. Время пребывания шихты 3,8 часа.

Расход древесного угля равен 6,79 м³ или 0,91 т, нелетучего углерода 615 кг на тонну чугуна.

На фиг. 208, г и д приведен состав газа в отношении содержания углекислоты на среднем горизонте из отверстия № 1, расположенного над чугунной леткой. Здесь мы имеем содержание углекислоты у стенки печи 0% по направлению к оси печи оно растет, достигая на расстоянии 0,5 м от стенки 7,9%, а на расстоянии в 1,0 м до 13,9%. Приведенный случай оказывается единственным и может быть объяснен только отходом рудной сыпи от стенки печи, наблюдавшимся в этот день на продолжительный по времени момент, а возможно также тем обстоятельством, что в то время в фурмы, расположенные над чугунной леткой, поступало большее количество дутья.

Коэффициент использования восстановительной способности газа получился низкий, 34%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования всего 4,7%. Указанное обстоятельство позволяет сделать заключение, что стремиться к уменьшению угла наклона шахты в условиях древесноугольной доменной печи по сравнению с углом $87^{\circ}30'$ совершенно не приходится, так как даже при этом угле в некоторые неблагоприятные моменты может наблюдаться сильное снижение содержания углекислоты в газе у стенки печи.

Пример третий. 7 июля 1939 г. на периферии доменной печи шла смесь высокогорской и гороблагодатской руды в количестве 1950 кг, а во внутреннее кольцо воронцовская руда в количестве 850 кг, что составляло 30,35% от общего веса рудной сыпи в 2800 кг в колошу, объемом 10,8 м³.

На одну тонну чугуна расход руды составлял 2,12 т, металлических добавок 154 кг, горючего 7,69 м³, или 1,03 т, пелелучего углерода 708 кг. Нагрев дутья 643°. Производительность доменной печи равнялась 130 т горячего литейного чугуна с содержанием кремния 2,67% и марганца 0,85%. Время пребывания шихты равнялось 5 час.

На фиг. 208, e и ж приведен состав газа на среднем горизонте. Содержание углекислоты у стенки печи в этом случае равняется 5,3%, по направлению к оси печи содержание углекислоты растет, доходя до 12,3% на расстоянии 0,75 м от стенки печи, а затем вновь падает.

Коэффициент использования восстановительной способности газа равен 69%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования равняется 8,5%. Периферийный ход здесь заметен, но не является сильно развитым, что также указывает на рациональный выбор угла наклона шахты древесно-угольной доменной печи в 87°30'.

Данные по исследованию среднего горизонта сведены в таблице 15.

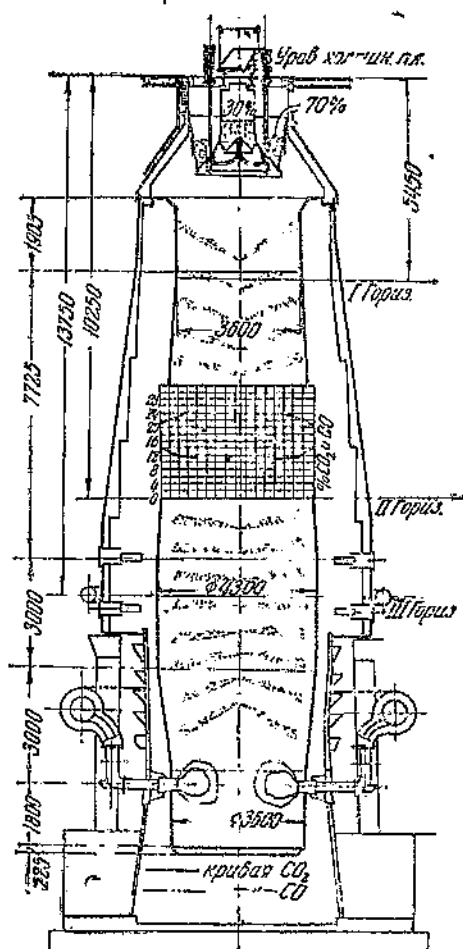
Из приведенной таблицы можно сделать заключение, что использование восстановительной способности газа по сечению среднего горизонта было достаточно хорошим, за исключением одного случая, когда доменная печь была опущена. Указанное обстоятельство подчеркивает хорошее распределение рудной сыпи по сечению доменной печи на среднем горизонте. При угле наклона шахты 87°30' при работе на полной доменной печи не получается отхода рудной сыпи от стенки, что благоприятно сказывается на работе печи в отношении расхода горючего.

Следовательно, для древесно-угольной доменной печи угол наклона стенки шахты в 87°30' следует считать вполне рациональным и ни в какой мере не способствующим подстоям и осадкам даже при работе на легковосстановимых рудах, когда наблюдается значительное выделение сажистого углерода

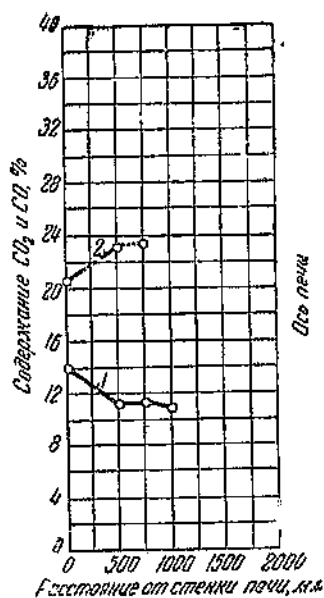
Таблица 15

Данные исследования на печи № 3 Серовского завода в отношении распределения материалов и работы газов над чугуном легкой

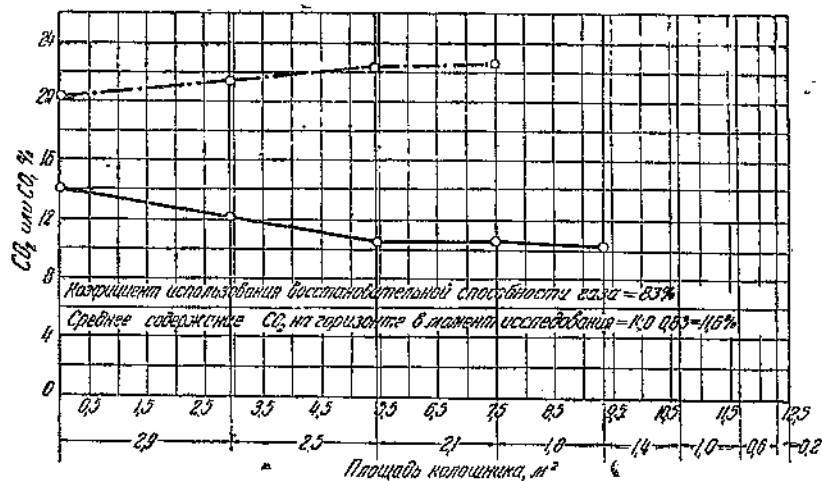
Число исследований	Общий расход руды, т/м чугуна	Расход металлических добавок на тонну чугуна, кг	Содержание кремния в чугуне, %	Кол-во сыпи, направляемое во внутреннее кольцо, %	Максимальное содержание углекислоты на горизонте в момент исследования, %	Среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования, %	Использование восстановительной способности газа, %	Расход горячего чугуна, т/м чугуна	Расход негорючего угля, кг/т	Коэф. использования полезного объема доменной печи, м³/т	Время пребывания шихты, часы
26 июня	2,2	нет	0,58	30	14	11,6	83	7,03	637	1,40	4,4
28 июня	2,06	нет	0,84	29,4	13,9	4,7	34	6,79	615	1,09	3,8
Работа с подачей во внутреннее кольцо воронцовской руды, а на периферию высокогорской и гороблагодатской											
7 июля	2,12	154	2,67	30,30	12,3	8,5	69	7,69	708	1,50	5,0



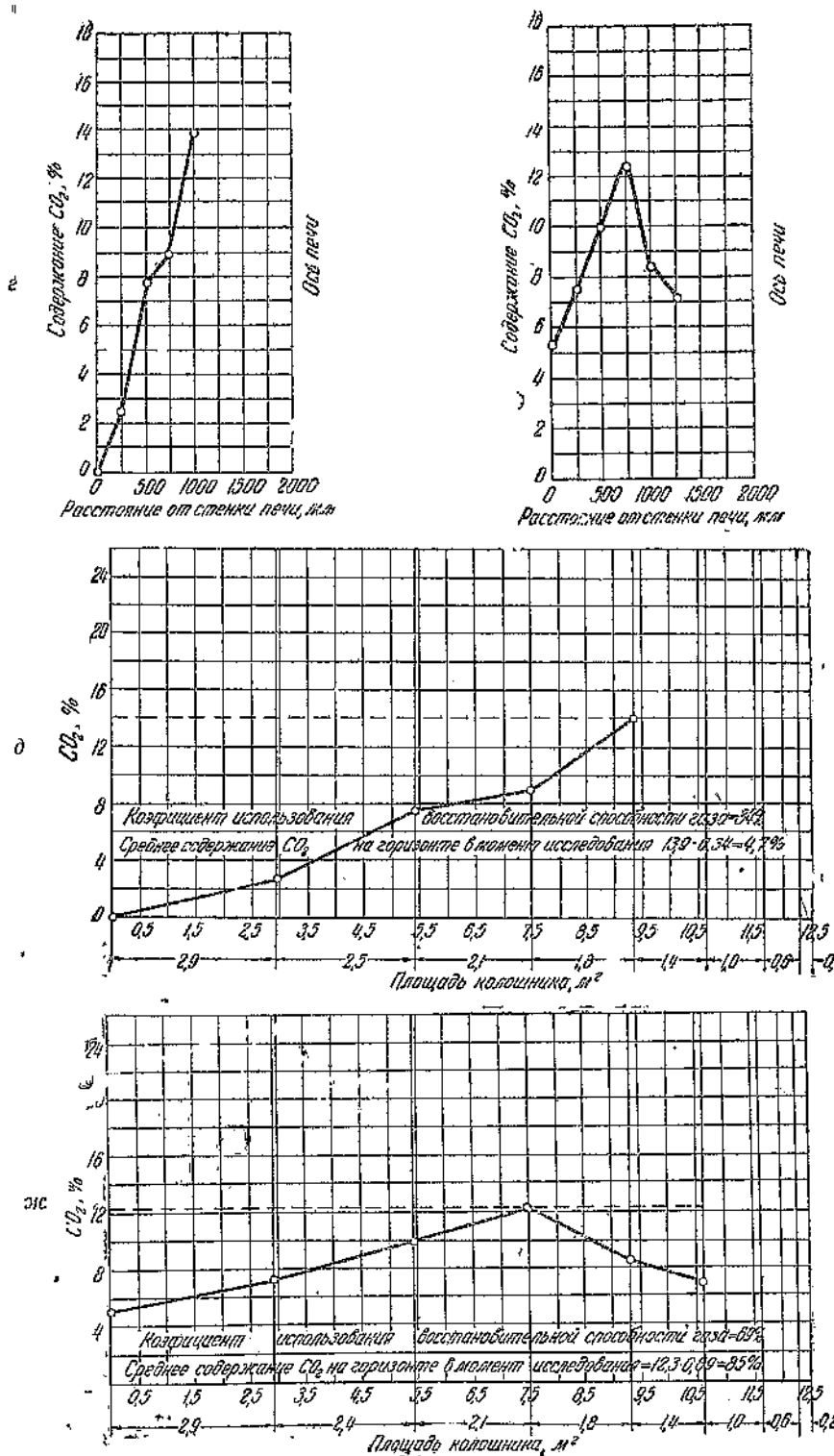
а



б



Фиг. 208. Диаграммы анализа газа на среднем горизонте из отверстия № 1 и № 4; а — разрез печи; б — состав газа от 26 июня 1939 г., в линейных координатах; в — состав газа от 26 июля 1939 г., в площадных координатах.



Фиг. 208: 2 — состав газа от 28 июня 1939 г., в линейных координатах; 3 — состав газа от 28 июня 1939 г., в площадных координатах; 4 — состав газа из отверстия № 4 от 7 июля 1939 г., в линейных координатах; 5 — состав газа из отверстия № 4 от 7 июля 1939 г., в площадных координатах;

в верхней части доменной печи, затрудняющее сход материалов по сравнению с работой на более трудновосстановимых рудах.

Минимальное время пребывания шихты в доменной печи 3,7 часа было получено при работе с подачей на периферию трудновосстановимых гороблагодатских и высокогорских магнитных железняков и полумартитов, а во внутреннее кольцо — легковосстановимых ауэрбаховских и воронцовских руд. Коэффициент использования полезного объема в доменной печи в таких условиях опускался ниже единицы и однако крутой угол наклона шахты в $87^{\circ}30'$ ни в какой степени не препятствовал весьма быстрому сходу колош без какой-либо наклонности к подвисанию.

§ 24. Работа горна

1. Общие замечания

Исследование горна доменной печи № 3 имело своей целью выяснить условия работы его при изменении количества рудной сыпи, направляемой в центральную часть доменной печи. Указанное представляет интерес потому, что позволяет сделать заключение о влиянии на ход доменной печи работы с перегрузом внутреннего кольца рудной сыпи или недогрузом, а также при оптимальном соотношении между рудной сыпью, направляемой в периферийное и внутреннее кольца.

Исследование работы горна проводилось путем изучения состава газа перед фурмами по направлению к оси доменной печи, а также температур горна.¹

2. Работа горна при засыпи аппаратом Парри

Пример первый. 7 августа 1939 г. доменная печь работала на смеси ауэрбаховской, воронцовской, высокогорской и гороблагодатской руды. Рудная сыпь в колошу, объемом 10,8 м³ была равна 2200 кг. На 1 т чугуна расход руды составлял 1,63 т, металлических добавок 43 кг, древесного угля 7,4 м³, или 1,03 т, нелетучего углерода — 700 кг. Нагрев дутья достигал 620—720° С. Производительность доменной печи была 160 т литейного чугуна, с содержанием кремния 1,39% и марганца 0,50%. Время пребывания шихты составляло 4,1 часа. Коэффициент использования полезного объема печи 1,22 м³/т.

На фиг. 209, а и б показан состав газа в отношении углекислоты и окиси углерода. Кривая показывает, что у самого носа фурмы содержание углекислоты равнялось 10,2%, максимум ее находился на расстоянии 0,2 м от носа фурмы и достигал 14%. В дальнейшем содержание углекислоты падало, сначала резко, а потом медленно и углекислота исчезала на расстоянии 1,0 м от носа фурмы.

Что же касается содержания окиси углерода, то оно возрастало по направлению к оси доменной печи довольно резко и в центральной части горна стабилизировалось на 87%.

Таким образом и здесь видно, что несмотря на недогрузку внутреннего кольца рудной сыпью все же центральная часть горна и при работе аппарата Парри загружена прямыми восстановительными процессами.

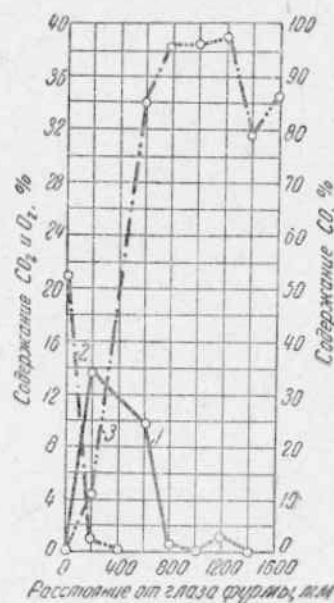
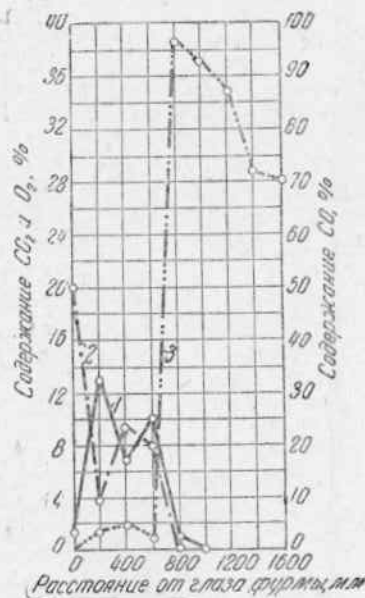
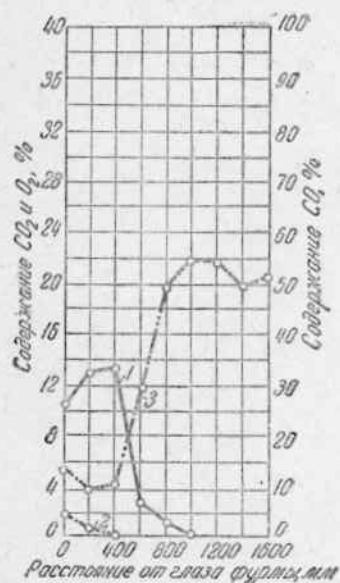
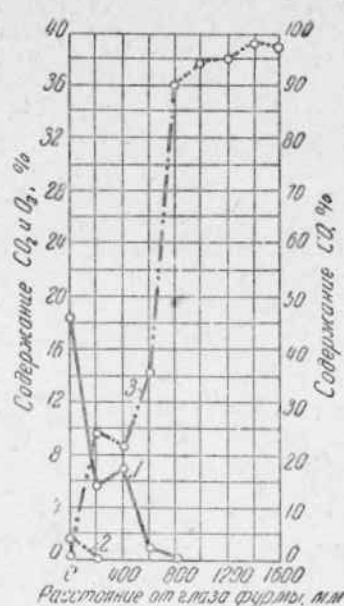
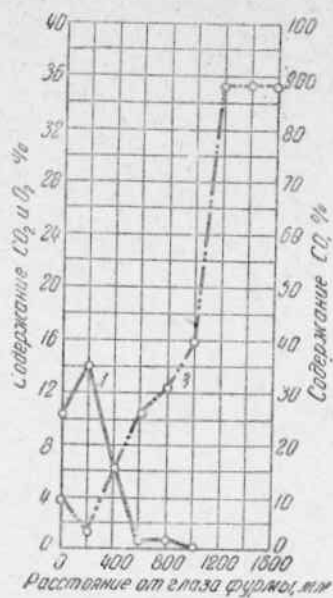
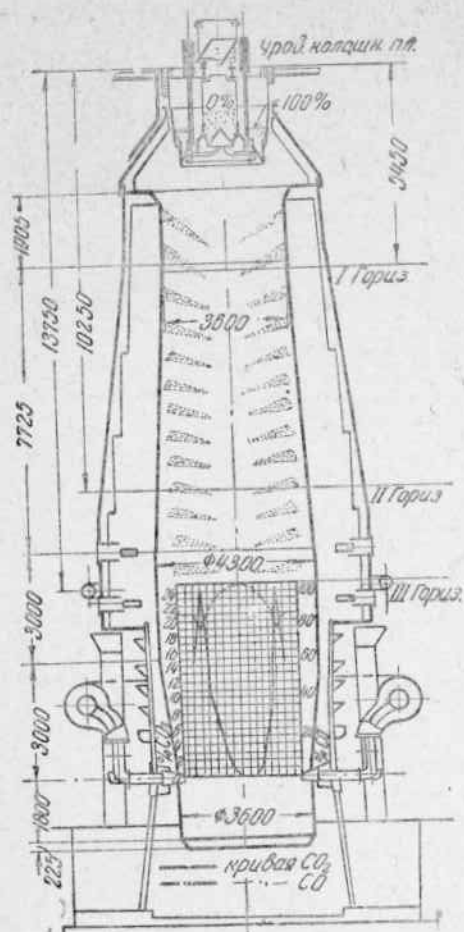
Пример второй. 9 августа 1939 г. доменная печь работала на смеси ауэрбаховских, воронцовских, высокогорских и гороблагодатских руд. Вес рудной сыпи в колошу объемом 10,8 м³ составлял 2200 кг на 1 т чугуна, расход руды составлял 1,52 т, скрапа 152 кг, древесного угля 7,65 м³, или 1,06 т, нелетучего углерода 721 кг. Производительность доменной печи 146 т литейного чугуна, с содержанием кремния 1,74% и марганца 0,83%. Время пребывания шихты в доменной печи 4,4 часа. Коэффициент использования полезного объема печи 1,33 м³/т.

На фиг. 209, в представлен состав газа в отношении содержания углекислоты, кислорода и окиси углерода. Здесь мы видим, что углекислота исчезает на расстоянии 0,8 м от носа фурмы, тогда как кислород — на расстоянии 0,2 м.

Содержание окиси углерода в центральной части горна доменной печи, при работе с воронкой Парри, было очень высокое и составляло от 90 до 98%. Указанное обстоятельство также подтверждает, что и при работе с воронкой Парри центральная часть горна доменной печи может быть загружена реакциями прямых восстановлений, если шихта достаточно хорошо подготовлена на пути до горна доменной печи.

Пример третий. 10 августа 1939 г. доменная печь работала на смеси ауэрбаховской, воронцовской, высокогорской и гороблагодатской руды, которая шла в количестве 2200 кг в колошу объемом 10,8 м³. На 1 т чугуна расход руды составлял 1,46 т, металлических добавок 52 кг, древесного угля 7,15 м³, или 1,0 т, нелетучего углерода 676 кг. Нагрев дутья 760° С, производительность доменной печи 161 т литейного чугуна, с содержанием кремния

¹ На диаграммах фиг. 209—212: кривая 1 — содержание CO₂, кривая 2 — содержание O₂, кривая 3 — содержание CO.



Фиг. 209. Диаграммы анализа газа перед фурмой № 6, в линейных координатах при одно-
кольцевой засыпи аппаратом Парри:
а — разрез печи; б — состав газа от 7 августа 1939 г.; — состав газа от 9 августа
1939 г.; д — состав газа от 10 августа 1939 г. е — состав газа от 11 августа 1939 г. (иссле-
дование I); з — состав газа от 11 августа 1939 г. (исследование II).

1,55% и марганца 0,80%. Время пребывания шихты в печи 4,2 часа. Коэффициент использования полезного объема 1,21 м³/т.

На фиг. 209, з представлен состав газа в отношении содержания окиси углерода, углекислоты и кислорода. Из кривой видно, что кислород исчезает на расстоянии 0,4 м от носа фурмы, тогда как углекислота на расстоянии 1,0 м. На расстоянии 0,6 м минимум содержания окиси углерода соответствует максимуму содержания углекислоты. В центральной части горна доменной печи содержание окиси углерода колеблется в пределах от 50 до 54%, что ясно показывает, что в известных условиях доменной плавки вне зоны фурменных очагов горна содержание окиси углерода в горновом газе может быть небольшое, как следствие меньшего развития прямых восстановлений.

Пример четвертый. 11 августа 1939 г. доменная печь работала на смеси ауэрбаховских, воронцовских, высокогорских и гороблагодатских руд, которые шли в количестве 2,010 кг в ковшу, объемом 10,8 м³. На 1 т чугуна расход руды составлял 1,65 т, металлических добавок 79 кг, древесного угля 8,86 м³, или 1,22 т, нелетучего углерода 836 кг. Нагрев дутья 645° С. Производительность доменной печи 134 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,30% и марганца 0,72%. Время пребывания шихты в доменной печи 4,2 часа. Коэффициент использования полезного объема — 1,45 м³/т.

На фиг. 209, д приведен состав газа в отношении содержания кислорода, углекислоты, и окиси углерода. Рассматривая кривые, мы видим, что кислород исчезает на расстоянии 0,8 м от носа фурмы, а углекислота на расстоянии 1,1 м. Минимальное содержание окиси углерода соответствует максимальному содержанию углекислоты. По направлению к оси горна содержание окиси углерода сильно возрастает и в зоне фурменного очага на расстоянии 0,8 м достигает максимума в 97%. В дальнейшем по направлению к оси доменной печи содержание окиси углерода уменьшается, доходя у оси доменной печи до 70%.

Здесь вновь обнаруживается сильное развитие процессов прямых восстановлений в горне доменной печи, которые привели к очень высокому расходу горючего на тонну чугуна.

Второе исследование состава газа в отношении кислорода, углекислоты и окиси углерода приведено на фиг. 209, е. Из кривой мы видим, что кислород исчезает на расстоянии 0,4 м, а углекислота на расстоянии 1,0 м.

После этого имеет место вторичный рост содержания углекислоты до 1,3% на расстоянии 1,2 м от носа фурм. Это вторичное содержание углекислоты объясняется развитием здесь реакций непрямого восстановления, что может иметь место лишь при сильно пониженных температурах в этом месте вследствие осадки.

Что касается содержания окиси углерода, то оно еще в пределах зоны фурменных очагов на расстоянии 0,6 м от носа фурмы достигает 35%, а на расстоянии 1,0 м — 96%. По направлению к оси доменной печи содержание углекислоты несколько снижается и у оси доменной печи составляет 80—86%. Высокое содержание окиси углерода не только вне зоны фурменных очагов в центральной части горна доменной печи, но также значительное и в самой зоне фурменных очагов, указывает на сильное развитие эндотермических реакций прямого восстановления.

Рассматривая данные по исследованию состава газа, можно сделать заключение, что фурменный очаг в горне доменной печи имеет пульсирующий характер. В зависимости от разных условий доменной плавки, он может уменьшаться или увеличиваться в размерах. Точно так же и интенсивность горения углерода перед фурмами меняется. В связи с этим необходимо смотреть на размер фурменного очага горна как на величину непрерывно меняющуюся на протяжении работы доменной печи.

Отчетливость представления получается более точная и соответствующая действительным условиям при рассмотрении непосредственно данных исследования без вывода средних цифр, которые в известной мере затушевывают пульсирующий характер горения углерода у фурм доменной печи.

При работе доменной печи с аппаратом Парри в центральной части горна может наблюдаться как высокое содержание окиси углерода, так и сравнительно небольшое. При высоком содержании окиси углерода в газе в центральной части горна доменной печи наблюдаются низкие температуры, что является результатом развития эндотермических реакций прямых восстановлений, которые имеют место здесь в результате схода недостаточно подготовленной руды в зону фурменных очагов горна, больших по своему объему и длинных по направлению к оси доменной печи.

Уменьшение размеров фурменного очага горна при работе с аппаратом Парри ведет, как правило, к уменьшению содержания окиси углерода в центральной части горна, т. е. к меньшему развитию реакции прямых восстановлений.

Хорошую подготовку руды до прихода в горн в отношении восстановления нагревания при работе засыпным аппаратом Парри получить трудно, так как

Данные исследования горна печи № 3 в отношении размеров фурменных очагов при засыпи аппаратом Парри

Число, месяц и № исследо- вания	Расход эле- ментарного угле- рода на тон- ну чугуна, кг	Кэф. использо- вания полезного объема доменной печи, м ³ /м чугу- на	Размер кисло- родной зоны фурменного очага, м	Размер угле- кислотной зо- ны фурмен- ного очага, м	Содержание оксида углерода вне зоны фурмен- ного очага, %	Содержание кремния в чугуне, %	Время пре- бывания шихты в пе- чи, часы	Темпера- тура ду- ты, °С
Работа на смеси высокогорских, гороблагодатских, ауэрбаховских и воронцовских руд								
1939 г.								
7 августа								
№ 1 . . .	700	1,22	Не определено	1,4	100	1,39	4,1	620—700
№ 2 . . .	700	1,22	Не определено	1,0	87	1,39	4,1	700
9 августа								
№ 1 . . .	721	1,33	0,8	0,8	90—98	1,74	4,4	700
10 августа								
№ 1 . . .	676	1,21	0,4	1,0	55—64	1,55	4,2	740
№ 2 . . .	676	1,21		1,0	50—54	1,55	4,2	780
11 августа								
№ 1 . . .	836	1,45	0,8	1,1	73—70	1,30	4,2	645
№ 2 . . .	836	1,45	0,4	1,0	80—86	1,30	4,2	645

сильное развитие центрального потока газов ухудшает подготовку рудных линз, расположенных на периферии, при сходе их в горн доменной печи.

Размеры фурменных очагов, полученные в различных условиях доменной плавки при работе с засыпным аппаратом Парри, приводятся в табл. 16.

Из таблицы видно, что при работе с засыпным аппаратом Парри размер кислородной зоны фурменного очага колеблется от 0,4 до 0,8 м, а размер углекислотной зоны от 0,6 до 1,4 м. Такие колебания в содержании кислорода и углекислоты в фурменном очаге горна подтверждают его пульсирующий характер. Что касается содержания окиси углерода вне зоны фурменных очагов горна, то оно колеблется в довольно широких пределах — от 50 до 100%, что указывает на большое развитие реакции прямых восстановлений и при засыпи аппаратом Парри почти с полным отсутствием рудной сыпи по оси доменной печи. Чем выше содержание окиси углерода у оси печи, тем выше расход горючего, вследствие большего развития прямого восстановления.

Очевидно, при больших размерах фурменного очага горна руда вместе с древесным углем сыпается сюда и так как при засыпном аппарате Парри имеется резко выраженный центральный поток газов, то это об-

стоятельство влечет за собой удовлетворительную подготовку руды перед приходом в горн, что и сказывается на развитии реакции прямых восстановлений.

Таким образом, засыпной аппарат Парри не избавляет центральную часть горна от развития здесь эндотермических реакций прямых восстановлений в том случае, если подготовка рудной сыпи до прихода в горн является неудовлетворительной, чему сильно способствует наличие мощного центрального потока газов, который при нормальном профиле печи неминуемо вызывается системой аппарата.

3. Работа горна при двухкольцевой засыпи с недогрузом внутреннего кольца

Эти исследования представляют интерес тем, что позволяют установить, как отзывается на работе доменной печи постепенная загрузка рудной сыпью внутреннего кольца.

Пример первый. 25 июля 1939 г. на периферию поступала смесь высокогорских и гороблагодатских руд в количестве 1800—1900 кг. Во внутреннее кольцо шли ауэрбаховские руды в количестве 850 кг в колошу, что составило от 30,9% до 32,1% всей рудной сыпи в колошу от 2650 до 2750 кг.

Объем колоши древесного угля равен 10,8 м³. Температура нагрева дутья 600°. Производительность доменной печи 176 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,33% и марганца 0,88%. На 1 т чугуна расход руды составлял 1,80 т, металлических добавок 21 кг, древесного угля 7,15 м³/т или 0,95 т, нелегучего углерода 658 кг. Время пребывания шихты 43 часа. Коэффициент использования полезного объема печи — 1,11 м³/т.

На фиг. 210, а и б представлен состав газа по сечению горна в отношении содержания углекислоты, окиси углерода и кислорода. Из рассмотрения диаграмм мы видим, что кислород исчезает на расстоянии 0,4 м от носа фурмы, в то время, как углекислота на расстоянии 1,4 м. Содержание окиси углерода постепенно растет, но является умеренным. Вне пределов фурменного очага содержание окиси углерода составляет от 47 до 75%, причем последняя цифра относится только к оси доменной печи.

Из приведенных данных видно, что сильного развития прямых восстановлений в горне доменной печи не наблюдалось, а это указывает на то, что подача рудной сыпи во внутреннее кольцо не влияет неблагоприятно на работу горна.

Пример второй. 30 июля 1939 г. на периферию шла смесь высокогорских и гороблагодатских руд в количестве примерно 30%, а остальные 70% — смесь ауэрбаховских и воронцовских руд. Всего шло на периферию 1800 кг руды в колошу, объемом 10,8 м³. Во внутреннее кольцо поступала смесь ауэрбаховских и воронцовских руд в количестве 800 кг, что составило 30,7% от общего количества рудной сыпи в колошу 2600 кг.

Нагрев дутья был 700°. Производительность доменной печи 162 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,66% и марганца 0,72%. Металлических добавок в шихту не подавалось. На 1 т чугуна расход руды составлял 1,69 т, древесного угля 7,25 м³ или 0,97 т, нелегучего углерода 678 кг. Время пребывания шихты в печи 4,2 часа. Коэффициент использования полезного объема печи — 1,2 м³/т.

На фиг. 210, в приведен состав газа по сечению горна в отношении содержания кислорода, углекислоты и окиси углерода. Как видно из диаграммы, кислород исчезает на расстоянии 0,4 м от стенки печи, тогда как углекислота — на расстоянии 1,0 м. Имеет место вторичное обнаружение кислорода и углекислоты в центральной части доменной печи. В одной из проб содержание кислорода было обнаружено на расстоянии 1,4 м от стенки в количестве 1%, что можно объяснить прорывом дутья вдоль трубки.

Углекислоты у оси доменной печи 1,7%, что может быть объяснено горением углерода или развитием реакции непрямого восстановления, вне зоны фурменных очагов горна. Содержание окиси углерода — от 30 до 67%, что указывает на сравнительно небольшое развитие реакции прямых восстановлений.

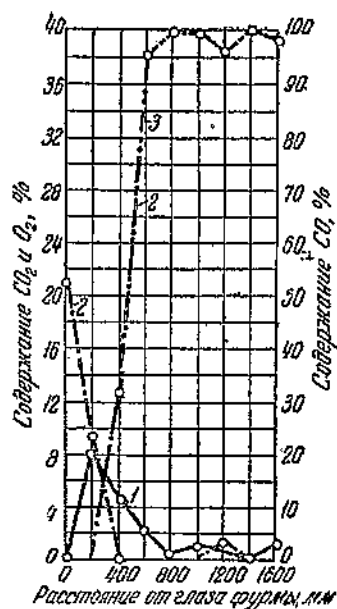
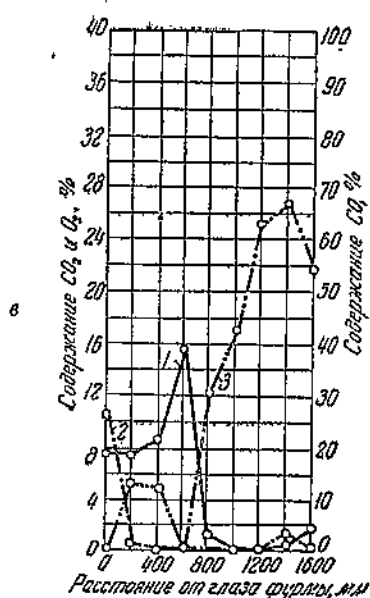
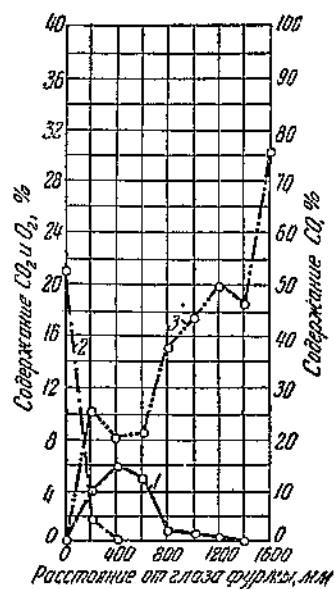
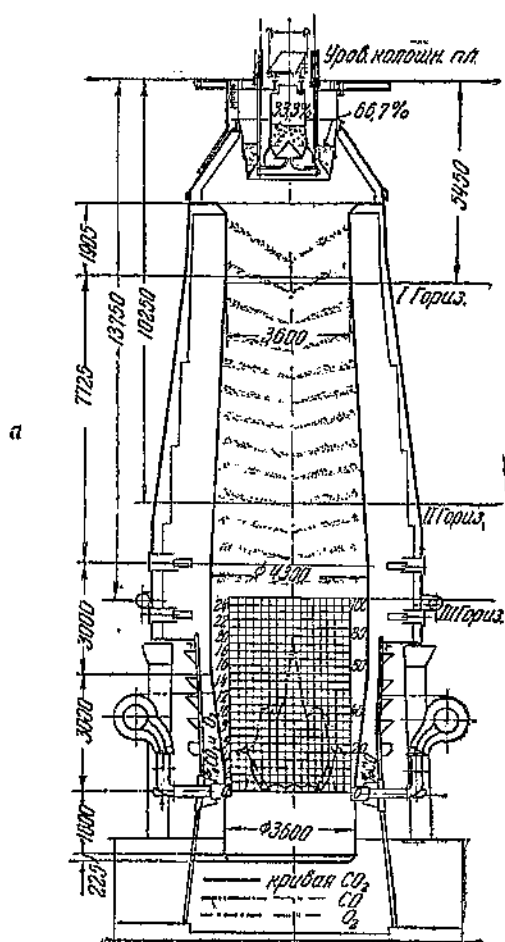
Максимум содержания углекислоты соответствует минимуму содержания окиси углерода, *Пример третий.* 3 августа 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию гороблагодатских мытых руд и полумартитов в количестве от 2610 до 2880 кг. Во внутреннее кольцо шла ауэрбаховская кусковая руда в размере от 1120 до 1140 кг, составлявших от 30,4 до 28% от общего веса рудной сыпи в 3750—4000 кг на колошу древесного угля объемом до 12 корбоек, или 16,2 м³.

Производительность доменной печи 151 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,25% и марганца 0,81%. Время пребывания шихты в доменной печи 4,1 часа.

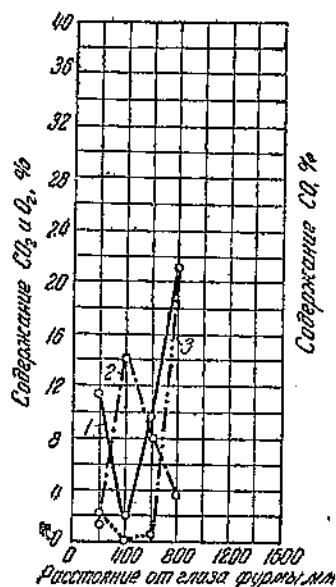
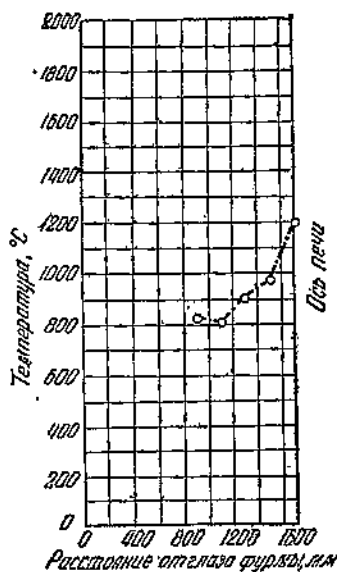
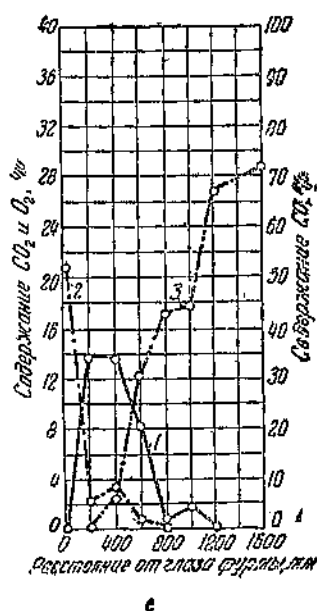
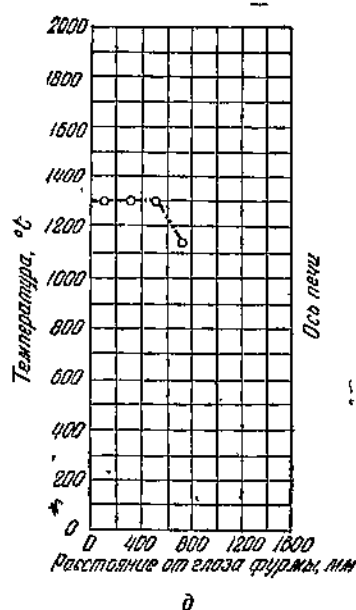
Температура дутья — 660°. Расход древесного угля за этот день был 7,92 м³, или 1,06 т, нелегучего углерода 728 кг на тонну чугуна. Коэффициент использования полезного объема печи — 1,29 м³/т.

Расход руды 2,3 т/т чугуна. Руда была очень бедная по содержанию железа, на что указывает высокий ее расход. Металлических добавок в шихту шло 43 кг на тонну чугуна.

На фиг. 210, г представлен состав газа по сечению горна. Как видно из диаграммы, кислород исчезал на расстоянии 0,4 м, а углекислота — на расстоянии 1,3 м от носа фурмы. Содер-



Фиг. 210. Диаграммы анализа газа и температуры перед фурмой № 6, в линейных координатах при двухкольцевой засыпи с недогрузом внутреннего кольца: *а* — разрез печи; *б* — состав газа от 25 июля 1939 г.; *в* — состав газа от 30 июля 1939 г.; *г* — состав газа от 3 августа 1939 г.



Фиг. 210; д — температура от 3 августа 1939 г.; е — состав газа от 15 августа 1939 г.; зс — температура от 19 августа 1939 г.; з — состав газа от 25 августа 1939 г.

жание окиси углерода в центральной части горна вне зоны фурменного очага доходило до 96—100%, что указывает на сильное развитие реакции прямых восстановлений, имевших место в данном случае.

На фиг. 210, д представлена температура по сечению горна. Как видно из диаграммы, температура перед носом фурмы равнялась 1300°, а на расстоянии 0,7 м была 1150°. Здесь следует отметить, что температуры замерялись после выпуска чугуна, что не могло не сказаться на их понижении.

Пример четвертый. 15 августа 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию азербайджанских и воронцовских руд в количестве 1900 кг, а во внутреннее кольцо тех же руд в количестве 850 кг, что составляло 30,9% от общего веса рудной сыпи в 2700 кг в колошу, объем 10,8 м³.

Нагрев дутья был 700°. Производительность доменной печи — 209 т валкового чугуна с содержанием кремния 0,71% и марганца 0,33%. Время пребывания шихты — 4,1 часа.

Коэффициент использования полезного объема доменной печи — 0,946 м³/т. На 1 т чугуна расход руды составлял 2,47 т, металлических добавок 63 кг, расход древесного угля составлял всего 5,92 м³, или 0,80 т, нелетучего углерода — 547 кг.

На фиг. 210, е представлен состав газа по сечению горна. Как видно из диаграммы, кислород исчезал на расстоянии 0,8 м от носа фурмы, а уголекислота — на расстоянии 1,2 м от стенки фурмы. Содержание окиси углерода вне пределов фурменного очага горна было невысоким — от 67 до 72%, что указывает на сравнительно небольшое развитие реакции прямых восстановлений.

Фурменный очаг, как видно из размера уголекислотной и кислотной зоны, большой, что обусловило хороший сход материалов при форсированной работе доменной печи.

Пример пятый. 19 августа 1939 г. доменная печь работала на колоше 10,8 м³ древесного угля. На периферию поступала смесь азербайджанских и воронцовских руд в количестве 1900 кг, а во внутреннее кольцо — смесь тех же руд в количестве 900 кг, составлявших 32,1% от общего веса рудной сыпи в колошу — 2800 кг.

На фиг. 210, ж приведены температуры в центральной части горна доменной печи, замеренные после выпуска чугуна. Из диаграммы видно, что у оси горна температура достигала 1200°, по направлению к стенке температура падала, достигая на расстоянии 1,15 м от стенки минимума 800°. Понижение температуры также объясняется приходом после выпуска в горн доменной печи недостаточно нагретых материалов.

Пример шестой. 25 августа 1939 г. доменная печь работала на гороблагодатских полумартитах, на колоше древесного угля объемом 10,8 м³. На периферию шло 1800 кг руды, а в центральную часть — 900 кг, что составляло 33,3% от общего веса рудной сыпи в колошу 2700 кг.

Нагрев дутья 680°. На 1 т чугуна расход руды составлял 2,5 т, металлических добавок 55 кг, древесного угля — 7,75 м³, или 1,05 т, нелетучего углерода 714 кг.

Производительность доменной печи 134 т передельного чугуна с содержанием кремния 0,21% и марганца 0,92%. Коэффициент использования полезного объема доменной печи равен 1,45 м³ на тонну чугуна. Время пребывания шихты 4—8 часов.

Пониженная производительность доменной печи в этот день частично объясняется простоем на смену патрубков фурмы № 7, которая продолжалась в течение 1,5 часа.

На фиг. 210, з приведен состав газа периферийной части горна, который дает довольно необычную картину состояния фурменного очага горна.

На расстоянии 0,2 м от носа фурмы содержание кислорода было 1,6%, а затем по направлению к оси доменной печи возросло, достигнув на расстоянии 0,4 м — 14%. Затем содержание кислорода к оси доменной печи вновь упало, достигнув на расстоянии 0,8 м 3,8%.

Кривая содержания уголекислоты точно соответствовала кривой содержания кислорода, что надо считать вполне логичным. Минимальное содержание кислорода соответствовало максимальному содержанию уголекислоты — и наоборот. Данные обстоятельства указывают на то, что кислород мог прорываться на некотором расстоянии от носа фурмы, причем постепенное его уменьшение необязательно во всех случаях процесса плавки.

Данные размеров фурменного очага в различных условиях доменной печи с недогрузом внутреннего кольца представлены в табл. 17.

Как видно из приведенной табл. 17 в условиях засыпи с недогрузкой внутреннего кольца размер кислородной зоны фурменного очага колеблется от 0,4 до 0,8 м, а размер уголекислотной зоны от 0,8 до 1,6 м, т. е. размеры фурменного очага остались почти такими же, как и при засыпном аппарате Парри, обнаруживая все же тенденции к увеличению.

Что же касается содержания окиси углерода вне зоны фурменного очага, то оно колеблется в широких пределах — от 16 до 100%, что указывает на неравномерный характер работы горна в отношении развития эндотермических реакций прямых восстановлений. Наибольшее количество окиси углерода было обнаружено в горне при заборе пробы газа после выпуска чугунов. По мере отдаления взятия проб газа из горна от выпуска содержание окиси углерода умень-

Данные исследования размеров фурменного очага при засыпи с недогрузом внутреннего кольца

Число, месц исследования	% руды по внутреннему кольцу	Температура дутья, °С	Время пребывания шихты в печи, часы	Содержание кремния в чугуне, %	Расход негасимого топлива, кг	Коэффициент использования объема дымовой печи, м³/т чугуна	Размер кислородной зоны фурменного очага, м	Размер углекислотной зоны фурменного очага, м	Содержание окиси углерода в золах фурменного очага, %
Работа с подачей на периферию смеси высокогорских и гороблагодатских руд, а во внутреннее кольцо ауэрбаховских руд									
25 июля 1939 г.	30,9—32,1	600	3,9	1,33	658	1,11	0,4	1,4	47—75
Работа с подачей на периферию смеси высокогорских, гороблагодатских, ауэрбаховских и воронцовских руд, а во внутреннее кольцо — смеси ауэрбаховских и воронцовских									
30 июля	30,7	700	4,2	1,66	678	1,20	0,4	1,0	43—67
Работа с подачей на периферию смеси гороблагодатских мытых руд и полумартитов, а во внутреннее кольцо ауэрбаховских руд									
3 августа	30,4	660	4,1	1,25	728	1,29	0,4	1,3	96—100
Работа на смеси ауэрбаховских и воронцовских руд									
15 августа	30,9	700	4,1	0,71	547	0,946	0,8	1,2	67—72
19 августа	32,1	710	4,0	0,48	600	1,05	0,6	1,0	46—56
Работа на гороблагодатских полумартитах									
25 августа	33,3	680	4,8	0,21	714	1,45	0,8	0,8	Не опред.

шалось, что указывает на уменьшение развития не прямых восстановлений с течением времени после выпуска.

Кроме того, имеется зависимость между расходом нелетучего углерода и содержанием окиси углерода вне зоны фурменного очага. Как правило, чем меньше расход нелетучего углерода, тем меньше содержание окиси углерода вне зоны фурменного очага. Так, например, 15 августа при расходе нелетучего углерода 547 кг на тонну чугуна содержание окиси углерода вне зоны фурменного очага было равно 67—72%, а 19 августа при расходе нелетучего углерода в 600 кг содержание окиси углерода было всего от 46 до 55%. При высоком расходе нелетучего углерода 3 августа в 728 кг содержание окиси углерода достигает 96—100%. Из указанного можно сделать заключение, что развитие процесса прямых восстановлений в горне доменной печи является результатом степени подготовки рудной сыпи в отношении восстановления до прихода ее в горн.

Распространенное мнение о том, что чем меньше время пребывания шихты, тем большего нужно ждать развития реакции прямых восстановлений в горне, не подтверждается.

Содержание окиси углерода вне зоны фурменного очага от 67 до 72% было получено при времени пребывания шихты в печи около 4,1 часа, тогда как при таком же пребывании 4,1 часа было получено содержание окиси углерода от 96 до 100%, причем в том и в другом случае во внутреннее кольцо шли сравнительно легковосстановимые азербайджанские и довольно трудновосстановимые воронцовские руды. При минимальном содержании окиси углерода вне зоны фурменных очагов количество руды, идущей во внутреннее кольцо, было достаточно высоким, составляя 30,9%, что не позволяет сделать заключение о пропорциональном увеличении развития прямых восстановлений при увеличении подачи руды во внутреннее кольцо.

Развитие прямых восстановлений в горне зависит исключительно от подготовки руды в отношении восстановления до прихода в горн.

4. Работа горна при двухкольцевой засыпи с перегрузкой внутреннего кольца

Эти исследования представляют интерес, так как выявляют влияние перегрузки внутреннего кольца рудной сыпи на развитие реакции прямого восстановления в центральной части горна доменной печи, а также и на размер фурменной зоны горна.

Пример первый. 26 июля 1939 г. на периферию доменной печи шла смесь высокогорских и гороблагодатских руд в количестве 1750 кг, а во внутреннее кольцо смесь азербайджанских и воронцовских руд в количестве 800 кг, что составляло 31,4% от общего веса рудной сыпи в 2550 кг, в колошу объемом 10,8 м³.

На 1 т чугуна расход руды равнялся 1,76 т, металлических добавок 56 кг, древесного угля 7,48 м³, или 1,00 т, нелетучего углерода 690 кг. Температура дутья от 600 до 700° С. Производительность доменной печи за этот день составляла 164 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,32% и марганца 0,91%.

Время пребывания шихты в доменной печи было 4 часа.

Коэффициент использования полезного объема доменной печи равнялся 1,19 м³ на тонну чугуна.

На фиг. 211, а и б приведен состав газов по сечению горна. Из диаграммы видно, что кислород исчез на расстоянии 0,2 м от носа фурмы. Содержание углекислоты достигало своего максимума 14,1% на расстоянии 0,6 м и исчезало на расстоянии 1 м от носа фурмы. Вне пределов фурменного очага содержание окиси углерода было сравнительно небольшое и составляло от 34 до 57%, что указывает на незначительное развитие реакции прямых восстановлений при перегрузке рудной сыпью внутреннего кольца.

Пример второй. 4 августа 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию гороблагодатских полумартитов в количестве 2500 кг, а во внутреннее кольцо азербайджанской руды в количестве 1100 кг, что составляло 30,5% от общего веса рудной сыпи в 3600 кг в колошу объемом 16,2 м³.

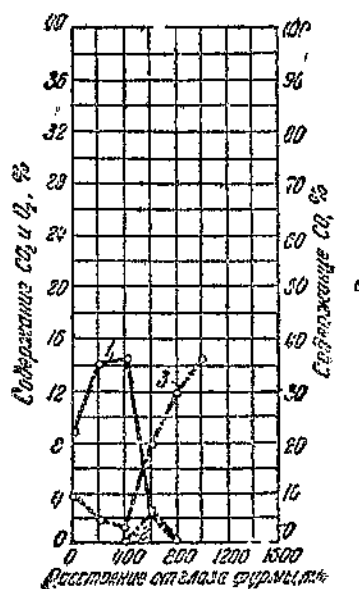
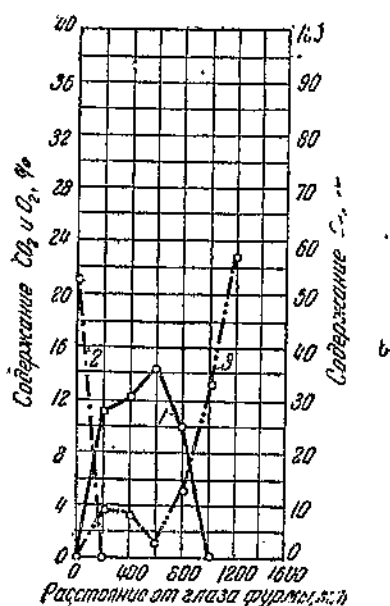
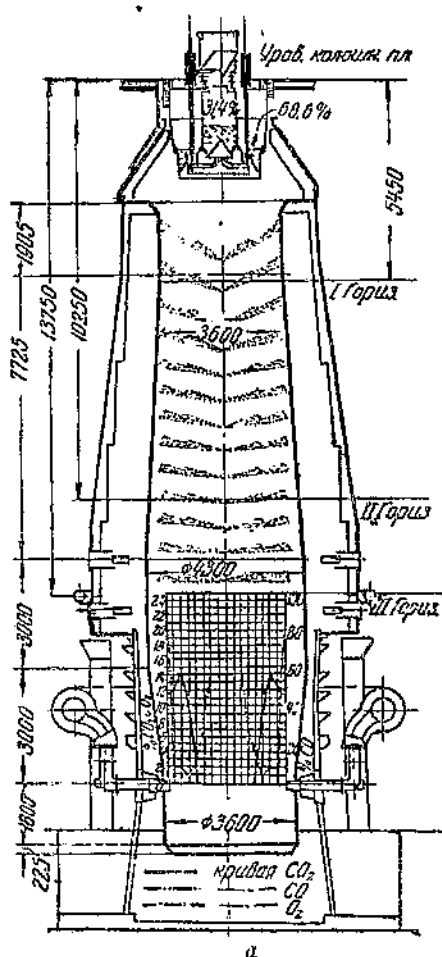
Доменная печь работала на увеличенной в полтора раза колоше по сравнению с обычной. На 1 т чугуна расход руды составлял 2,47 т, металлических добавок 63 кг, древесного угля (повышенный) — 8,12 м³, или 1,08 т, нелетучего углерода 747 кг.

Нагрев дутья был 680°. Производительность доменной печи составляла 142 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,54% и марганца 0,97%.

Время пребывания шихты в доменной печи было 4,3 часа.

Коэффициент использования полезного объема доменной печи составлял 1,37 м³ на тонну чугуна.

На фиг. 211, а приведен состав газа по сечению горна, из которого видно, что фурменный очаг в части его окислительной зоны простирается на расстоянии 0,8 м от носа фурмы. Вне



Фиг. 211. Диаграммы анализа газа перед фурмой № 6, в линейных координатах: при двух-кольцевой засылке с перегрузом внутреннего кольца:
а — разрез печи; б — состав газа от 26 июля 1939 г.; в — состав газа от 4 августа 1939 г.

пределов фурменного очага содержание окиси углерода было небольшое и составляло от 30 до 36%.

К сожалению, проследить в этот день содержание окиси углерода до оси печи не представлялось возможным.

Как видно из вышеприведенных результатов, при работе доменной печи с перегрузкой внутреннего кольца нет оснований для утверждения, что при этом

получается резко выраженное увеличение содержания окиси углерода в центральной части доменной печи. Таюже нет достаточных оснований для утверждения об усиленном развитии здесь реакции прямых восстановлений.

Нельзя не отметить, что количество наблюдений было недостаточно, и для выяснения этого интересного вопроса было бы целесообразно доменную печь некоторое время продолжать вести с явно выраженной перегрузкой рудной сыью в центральной части, с тем чтобы установить влияние этого обстоятельства на работу доменной печи, но, к сожалению, такого случая не представилось.

5. Работа горна при засыпи двумя обособленными кольцами

Пример первый. 27 июля 1939 г. на периферию доменной печи шла смесь высокогорских, гороблагодатских, азербайджанских и воронцовских руд в количестве 1750 кг, а во внутреннее кольцо поступало 800 кг азербайджанских и воронцовских руд, что составляло 31,4% от общего веса рудной сыпи в колошу в 2550 кг. Объем колоши древесного угля 10,8 м³. Температура дутья была 640—680°.

На 1 т чугуна расход руды составлял 2,3 т, металлических добавок 83 кг, древесного угля 9,01 м³, или 1,20 т, нелетучего углерода 830 кг. Производительность доменной печи в этот день равнялась 141 т горячего литейного чугуна с содержанием кремния 2,37%, марганца 0,95%. Время пребывания шихты в доменной печи равнялось 3,9 часа, а коэффициент использования полезного объема доменной печи 1,38 м³ на тонну чугуна.

На фиг. 212, а и б приведен состав газа по сечению горна. Из диаграммы видно, что кислород исчезает на расстоянии 0,4 м и его исчезновение соответствует максимуму содержания углекислоты в 12%. Углекислота исчезает на расстоянии 0,8 м.

Вне зоны фурменного очага горна содержание окиси углерода колеблется от 80 до 52%, причем наблюдается уменьшение содержания окиси углерода по направлению к оси горна.

В двух местах в центральной части горна на расстоянии 0,2 и 1,7 м наблюдалось небольшое содержание кислорода, что возможно объяснить прорывом его вдоль трубки при отборе пробы газа.

Пример второй. 29 июля 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию 1800 кг смеси высокогорских, гороблагодатских и азербайджанских руд. Во внутреннее кольцо шла смесь азербайджанских и воронцовских руд в количестве 850 кг, что составляло 31,5% от общего веса рудной сыпи в 2700 кг в колошу объемом 10,8 м³.

Расход руды составлял 1,74 т, металлических добавок 41 кг, древесного угля 7 м, или 0,94 т, нелетучего углерода 647 кг. Нагрев дутья 650° С. Производительность доменной печи 171 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,22% и марганца 0,83%. Время пребывания шихты составляло 4 часа. Коэффициент использования полезного объема доменной печи — 1,14 м³ на тонну чугуна.

Работа доменной печи в этот день может считаться экономичной.

На фиг. 212, в приведен состав газа по сечению горна. Из диаграммы видно, что углекислотная зона простирается на расстоянии свыше 1 м от носа фурмы, тогда как кислородная зона кончается на 0,4 м. Содержание окиси углерода высокое и достигает 97—99%, что указывает на развитие реакции прямого восстановления, что впрочем не помешало получению горячих литейных чугунов с содержанием кремния 1,22% и с небольшим расходом нелетучего углерода в количестве 647 кг на тонну чугуна.

Пример третий. 31 июля 1939 г. на периферию доменной печи поступала смесь высокогорских и гороблагодатских руд (70%) и смесь азербайджанских и воронцовских руд (30%) в количестве 1800 кг в колошу. Во внутреннее кольцо поступала смесь азербайджанских и воронцовских руд в количестве 800 кг, что составляло 30,7% от общего веса рудной сыпи в 2600 кг в колошу объемом 10,8 м³.

На 1 т чугуна расход руды составлял 1,91 т, металлических добавок 66 кг, древесного угля 7,3 м³, или 0,98 т, нелетучего углерода 673 кг. Нагрев дутья был 680°. Производительность доменной печи 159 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,98% и марганца 0,89%. Время пребывания шихты в доменной печи равнялось 4,2 часа. Коэффициент использования полезного объема доменной печи был равен 1,23 м³ на тонну чугуна.

На фиг. 212, г приведен состав газа по сечению горна доменной печи. Из диаграммы видно, что содержание кислорода исчезает на расстоянии 0,4 м, а затем вновь обнаруживается на второй пробе на расстоянии 0,8 и 1,2 м от носа фурмы в количестве до 2%, что можно объяснить лишь прорывом воздуха вдоль трубки.

Содержание углекислоты достигает максимума на расстоянии 0,4 м от носа фурмы, а затем падает, исчезая на расстоянии 1 м.

Содержание окиси углерода очень небольшое и вне пределов фурменного очага составляет от 35 до 52%, что указывает на небольшое развитие реакции прямых восстановлений при выплавке в этом случае горячих литейных чугунов.

Пример четвертый. 23 августа 1939 г. на периферию доменной печи шли гороблагодатские полумартиты в количестве 2010 кг, а во внутреннее кольцо та же руда в количестве 900 кг, что составляло 30,9% от общего веса рудной сыпи в 2910 кг в колошу объемом 10,8 м³. Дополнительно к железной руде шло в колошу 30 кг марганцевой руды, которая поступала на периферию.

Расход руды составлял 2,74 т, а металлических добавок шло 34 кг на тонну чугуна. Нагрев дутья был 640°. Большой расход руды при некотором введении металлических добавок в шихту указывает на большую бедность руды, которая проплавлялась в этот день. В связи с изложенным производительность доменной печи в этот день понизилась до 147 т предельного чугуна с содержанием кремния 0,65% и марганца 1,21%.

Время пребывания шихты равнялось 4,3 часа, а коэффициент использования полезного объема в доменной печи 1,32 м³ на тонну чугуна.

Расход древесного угля вследствие работы на очень бедной руде составлял 7,8 м³, или 1,04 т, нелетучего углерода 718 кг на тонну чугуна.

На фиг. 212, д представлен состав газа по сечению горна. Из диаграммы видно, что состояние кислорода исчезало на расстоянии 0,2 м от носа фурмы, а содержание углекислоты на расстоянии 1,2 м, причем наличие углекислоты на расстоянии 0,6 м до расстояния 1,2 м было очень небольшое.

Содержание окиси углерода вне пределов фурменного очага горна колеблется от 53 до 83%, что указывает на довольно сильное развитие прямых восстановлений в горне, что объясняется бедностью проплавляемых руд.

Сравнение данных исследований можно видеть из табл. 18.

Рассмотрение результатов исследования состава газа по сечению горна при засыпи двумя обособленными кольцами выявляет, что в центральной части горна доменной печи может иметь место небольшое развитие процесса прямого восстановления.

Наблюдались однако и такие случаи, когда развитие процессов прямых восстановлений было достаточно высоким. Исследования подтверждают, что при подаче значительного количества руды во внутреннее кольцо вполне возможна выплавка горячих литейных чугунов с небольшим расходом горючего, что указывает на нормальную работу горна доменной печи.

Как видно из табл. 18, при режиме засыпи доменной печи двумя обособленными кольцами размер кислородной зоны фурменного очага горна колеблется от 0,2 до 0,6 м, а углекислотной зоны от 0,8 до 1,2 м, т. е. размеры фурменного очага остаются примерно такими же, как это имело место и в предыдущих случаях. Здесь также наблюдается закономерность: минимальный расход горючего соответствует и минимальному развитию реакции прямого восстановления в горне доменной печи, что характеризуется минимальным содержанием окиси углерода вне зоны фурменных очагов горна.

При расходе горючего в 645—670 кг наблюдается содержание окиси углерода от 35 до 52%. Из этого правила есть исключение: например 29 июля при расходе нелетучего углерода в 647 кг наблюдается высокое содержание окиси углерода вне зоны фурменного очага в 97—99%. Из изложенного можно сделать заключение, что при подаче значительного количества рудной сыпи во внутреннее кольцо, при хорошей ее подготовке до прихода в горн, это обстоятельство не сказывается на развитии реакции прямых восстановлений.

6. Работа горна при оптимальной засыпи

Пример первый. 28 июля 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию смеси высокогорских и гороблагодатских руд, по преимуществу магнитного железняка, в количестве 1750 кг, а во внутреннее кольцо воронцовских и ауэрбаховских руд в количестве 850 кг, что составляло 32,6 % общей рудной сыпи в колошу объемом 10,8 м³.

Производительность доменной печи 201 т литейного чугуна с содержанием кремния 1,24% и марганца 0,75%. Время пребывания шихты в доменной печи 3,7 часа, а коэффициент использования полезного объема доменной печи 0,97 м³ на тонну чугуна.

На 1 т чугуна расход руды составлял 1,63 т, металлических добавок 60 кг, древесного угля 6,43 м³, или 0,87 т, нелетучего углерода 593 кг.

Нагрев дутья был 680° С.

Как видно из приведенных данных, работа доменной печи была весьма экономичной.

На фиг. 213, а и б приведен состав газа по сечению горна. Из кривой видно, что кислород вначале исчезает на расстоянии 0,2 м от носа фурмы, что и соответствует максимальному содержанию углекислоты в 15,6%, в дальнейшем вновь появляется и его содержание на расстоянии 0,6 м доходит до 6,2%. Окончательное исчезновение кислорода имеет место на расстоянии 0,8 м от носа фурмы. Углекислота полностью исчезает на расстоянии 1 м от носа фурмы.

Вторичное получение кислорода в фурменном очаге горна может быть объяснено пульсирующим характером горения. Вне пределов фурменного очага горна содержание окиси углерода небольшое — от 32 до 50% и только у оси доменной печи на ничтожной площади оно

Таблица 18

Данные исследования горна печи № 3 при засыпи двумя обособленными кольцами

Число, мес и № исследования	Поступление руды во внутреннее кольцо, %	Температура дутья, °С	Время пребывания шихты, часы	Содержание кремния в чугуне, %	Расход нелетучего углерода, кг	Коэффициент использования полезного объема доменной печи, м ³ /т чугуна	Размер кислородной зоны фурменного очага, м	Размер углекислотной зоны фурменного очага, м	Содержание окиси углерода вне зоны фурменного очага, %
Работа с подачей на периферию смеси высокогорских, гороблагодатских, ауэрбаховских и воронцовских руд, а во внутреннее кольцо ауэрбаховских и воронцовских руд									
27 июля	31,4	640—680	3,9	2,37	830	1,38	0,4	0,8	80—52
29 июля	31,5	650	4,0	1,22	647	1,14	0,4	1,0	97—99
31 июля	30,7	600	4,2	1,98	670	1,23	0,6	1,0	35—52
Работа на гороблагодатских полумартитах									
23 августа	30,9	640	4,0	0,65	718	1,32	0,2	1,2	53—83

достигает 84%. Такое содержание окиси углерода указывает на небольшое развитие реакции прямых восстановлений в центральной части доменной печи.

Пример второй. 18 августа 1939 г. доменная печь работала на колоше, объемом 10,8 м, с подачей на периферию гороблагородатских полумартитов в количестве 1900 кг, а во внутреннее кольцо мытой высокогорской руды 900 кг, что составило 32,1% от общего веса рудной сыпи в 2800 кг в колошу.

Расход руды был 2,12 т, а металлических добавок шло 67 кг на тонну чугуна. Нагрев дутья был 650—700°. Производительность доменной печи в этот день была 204 т переделанного чугуна, с содержанием 0,49% кремния и 0,77% марганца. Время пребывания шихты в печи равнялось 3,9 часа. Коэффициент использования полезного объема был равен 0,955 м³ на тонну чугуна.

Расход древесного угля составлял 5,98 м³ или 0,780 т/т чугуна. Расход нелетучего углерода был 552 кг на тонну чугуна.

На фиг. 213, в приведен состав газа по сечению горна.

Из диаграммы усматриваем, что кислород исчезает на расстоянии 0,8 м от носа фурмы. На этом же расстоянии исчезает из состава газа и углекислота. Максимум содержания углекислоты находится на расстоянии 0,2 м от носа фурмы, где оно достигает 11,2%. Вне пределов фурменного очага горна содержание окиси углерода небольшое — до 44%, что указывает на небольшое развитие реакции прямых восстановлений, что сказалось и на экономичности работы доменной печи в отношении расхода горючего, наблюдавшейся в этот день.

Только у самой оси доменной печи содержание окиси углерода поднялось до 81%, но это имело место на очень небольшом участке площади горна 0,2 м².

Второе исследование, проведенное в этот же день, изображено на фиг. 213, г. Здесь кислородная зона фурменного очага кончается на расстоянии 0,8 м, а углекислотная зона — на расстоянии 1,0 м от носа фурмы.

Содержание окиси углерода вне зоны фурменного очага горна наблюдается более высокое, чем в первое исследование, а именно от 38 до 80%, причем и здесь необходимо отметить, что такая высокая цифра содержания окиси углерода до 80% наблюдалась только в одной точке на расстоянии 1,4 м от носа фурмы, т. е. площадь горна, занятая реакциями прямых восстановлений, была очень небольшая.

Пример третий. 21 августа 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию смеси ауэрбаховской и воронцовской руды в количестве 2050 кг. Эта же смесь шла и во внутреннее кольцо в количестве 960 кг, которые составляли 31,8% от общего веса рудной сыпи в 3010 кг в колошу, объемом 10,8 м³.

Расход руды составлял 2,41 т, а расход металлических добавок 39 кг на тонну чугуна. Нагрев дутья был от 660 до 700°. Производительность доменной печи составляла 185 т валкового чугуна, с содержанием кремния 0,95% и марганца 0,35%.

Расход древесного угля составлял 6,72 м³, или 0,873 т/т чугуна. Расход нелетучего углерода был 620 кг на тонну чугуна. Время пребывания шихты было 3,9 часа, а коэффициент использования полезного объема печи 1,05 м³/т.

На фиг. 213, д приведен состав газа по сечению колошника. Из состава газа мы видим, что кислород в первый раз исчезает на расстоянии 0,2 м от носа фурмы, а затем вновь появляется на расстоянии 0,6 м в небольшом количестве 0,8%.

Углекислота исчезает на расстоянии 1,4 м от носа фурмы, что указывает на большие размеры фурменного очага горна.

Содержание окиси углерода в центральной части горна невысокое — до 60%, причем и содержание в 60% наблюдается только у самой оси горна. Из указанного можно сделать заключение, что реакции прямых восстановлений в данном случае в горне доменной печи были развиты очень мало.

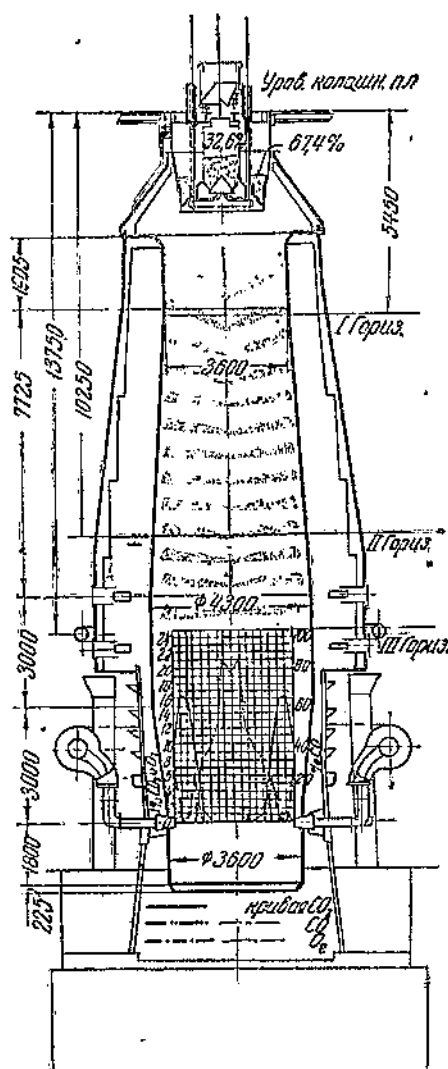
Пример четвертый. 22 августа 1939 г. доменная печь работала с подачей на периферию гороблагородатских полумартитов в количестве 1850 кг, во внутреннее кольцо шла та же руда в количестве 850 кг, что составляло 31,4% от общего веса рудной сыпи 2700 кг в колошу, объемом 10,8 м³.

На 1 т чугуна расход руды составлял 2,25 т, металлических добавок 30 кг, древесного угля 6,6 м³, или 0,89 т, нелетучего углерода 608 кг. Производительность доменной печи 182 т валкового чугуна, с содержанием кремния 0,70% и марганца 0,77%. Время пребывания шихты 4,1 часа, а коэффициент использования полезного объема доменной печи — 1,07 м³ на тонну чугуна. Нагрев дутья 750—680° С.

На фиг. 213, е приведен состав газа по сечению горна. Этот состав интересен тем, что он был взят сразу же после выпуска. Кислород исчезает на расстоянии 0,6 м от носа фурмы, тогда как углекислота, непрерывно поднималась по направлению к оси горна и на расстоянии 1,4 м от носа фурмы составляла 16,1%.

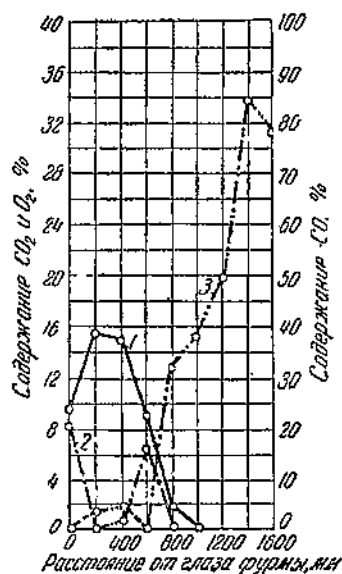
Содержание окиси углерода растет, начиная от 0,4 м от носа фурмы, достигая максимума в 76% на расстоянии 1,4 м. Интересно отметить, что здесь максимальное содержание углекислоты отвечает максимальному содержанию окиси углерода. Такой состав газа может быть объяснен только развитием реакции непрямого восстановления, которое имело место в центральной части горна при опускании после выпуска недостаточно восстановленной руды.

На фиг. 213, ж приведен состав газа по сечению горна во время второго исследования. Рассматривая диаграммы, мы видим, что кислород исчезает на расстоянии 0,2 м от

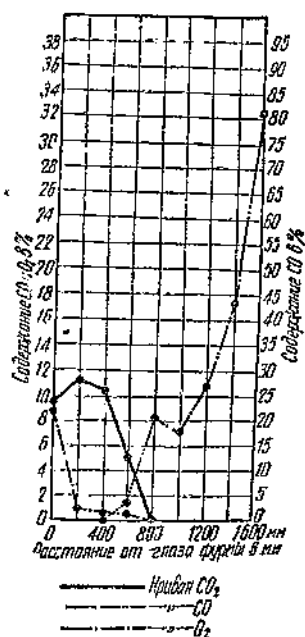


а

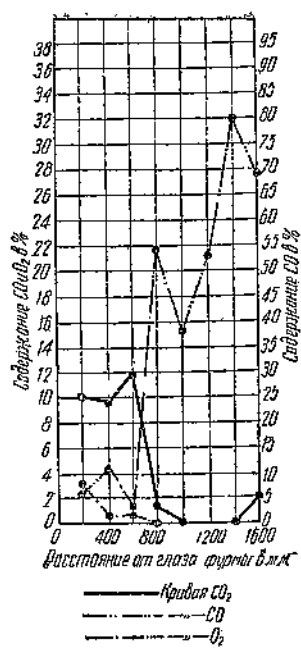
Фиг. 213. Диаграммы анализа газа перед фурмой № 6, в линейных координатах: а — разрез печи; б — состав газа от 28 июля 1939 г.; в — состав газа от 18 августа 1939 г. (I исследование);



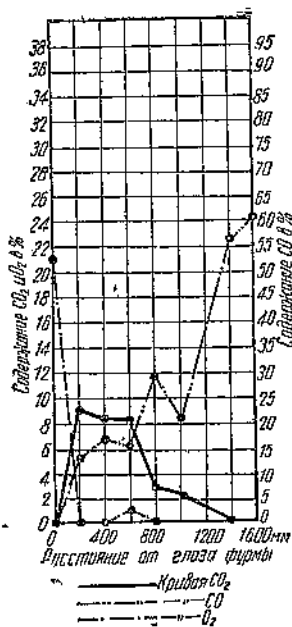
б



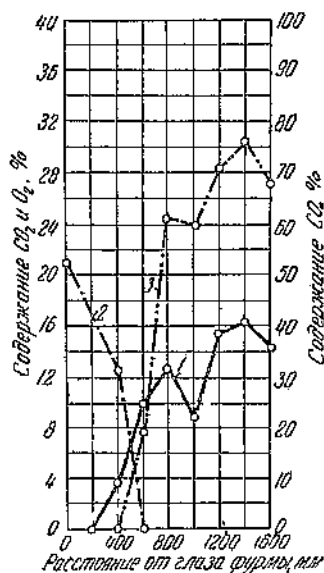
в



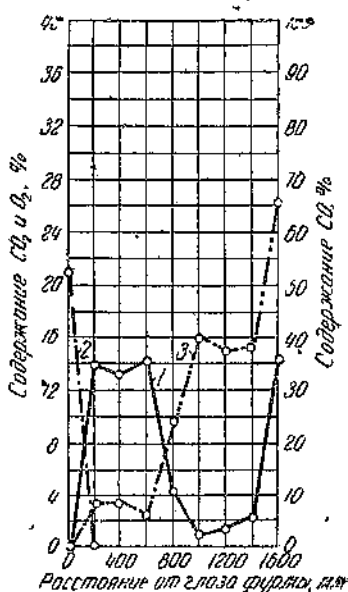
з



д



е



ж

Фиг. 213: з — состав газа от 18 августа 1939 г. (II исследование); д — состав газа от 21 августа 1939 г.; е — состав газа от 22 августа 1939 г. (исслед. I); ж — состав газа от 22 августа 1939 г. (исследование II).

носа фурмы. Что же касается углекислоты, то максимальное её содержание достигает 14% на расстоянии сначала 0,2 м, а потом 0,6 м от носа фурмы. Можно считать, что фурменный очаг горна кончается на расстоянии 1 м от носа фурмы. Дальше в центральной части горна вновь наблюдается рост содержания углекислоты, что может быть объяснено лишь развитием реакции не прямых восстановлений и что может быть с приходом в горн недостаточно подготовленных материалов, так как исследование было проведено также незадолго после выпуска чугуна. Содержание окиси углерода сравнительно небольшое и вне пределов фурменного очага горна равняется 37—65%, что показывает на отсутствие развития реакций прямого восстановления.

Данные исследования и их сравнение приведено в табл. 19.

При режиме оптимальной засыпи размер кислородной зоны фурменного очага колеблется также в пределах от 0,2 до 0,8 м, а размер углекислотной зоны от 0,8 до 1,6 м. Пульсирующий характер фурменного очага сохраняется и при оптимальной засыпи доменной печи. Размеры фурменного очага, как видно из приведенных данных, большие и вполне обеспечивают беспрепятственный и равномерный сход материалов.

В условиях оптимальной засыпи содержание окиси углерода вне зоны фурменного очага пониженное, оно составляет от 32 до 65% и только у самой оси печи доходит до небольшой площади горна (0,3—0,5 м²), иногда до 84%.

Приведенные данные указывают на небольшое развитие реакции прямых восстановлений в горне при режиме с оптимальной засыпью доменной печи, что способствует получению минимального расхода горючего.

Интересно здесь отметить, что очень небольшое содержание окиси углерода вне зоны фурменного очага от 32 и до 50% было получено при времени пребывания шихты в печи всего 3,7 часа, а содержание от 37 до 65% окиси углерода получалось при времени пребывания шихты в 4,1 часа.

Указанное позволяет сделать заключение, что при быстром сходе шихты в доменной печи вполне возможна работа горна с небольшим развитием реакции прямых восстановлений в том случае, если подготовка рудной сыпи до прихода ее в горн в отношении восстановления является хорошей, что обеспечивается в первую очередь хорошим распределением материалов.

Подача рудной сыпи в центральную часть доменной печи при оптимальном распределении материалов двумя концентрическими кольцами без сосредоточения рудной сыпи у оси печи приводит к очень благоприятным результатам в отношении работы горна доменной печи, который не загружается реакциями прямых восстановлений, а вследствие этого работоспособность его повышается.

Из всех приведенных данных по работе горна можно сделать следующие основные выводы:

1. Результаты исследования работы горна доменной печи указывают, что развитие реакции прямых восстановлений в горне не находится в зависимости от режима засыпи, а зависит лишь от подготовки материалов перед приходом в горн.

2. Фурменный очаг горна имеет изменяющиеся размеры, т. е. горение углерода у фурм носит пульсирующий характер.

3. Минимальное развитие прямых восстановлений в горне возможно при очень непродолжительном времени пребывания шихты в доменной печи (до 3,7 часа).

4. Минимальное развитие прямых восстановлений наблюдается при хорошей подготовке рудной сыпи в отношении восстановления перед приходом в горн, что сопровождается небольшим расходом горючего, хорошим коэффициентом использования полезного объема печи и небольшим временем пребывания шихты.

5. Развитие прямых восстановлений в горне доменной печи между двумя выпусками чугуна неодинаковое. После выпуска развитие реакции прямых восстановлений в горне максимальное, с течением времени после выпуска оно уменьшается.

Данные исследования горна печи № 3 при оптимальной засыпи

Число, месяц и № исследования	Поступление руды по внутр. кольцу, %	Температура дутья, °С	Время пребывания шихты, часы	Содержание кремния в чугунах, %	Расход нелетучего углерода, кг	Коэффициент использования полезной энергии домен. печи, м ³ /т чугуна	Размер кислородной зоны фурменного очага, м	Размер углекислотной зоны фурменного очага, м	Содержание окиси углерода вне зоны фурменного очага, %
Работа с подачей на периферию смеси высокогорских и гороблагодатских руд, а во внутреннее кольцо воронцовских									
28 июля 1939 г.	32,6	680	3,7	1,24	593	0,97	0,8	1,0	32—50 у оси 84
Работа с подачей на периферию гороблагодатского полумартита, а во внутреннее кольцо высокогорской мытой руды									
18 авг. 1939 г.									44
№ 1	32,1	650—700	3,9	0,49	552	0,955	0,8	0,8	у оси 81%
№ 2	32,1	650—700	3,9	0,49	552	0,955	0,8	1,0	38—80
Работа с подачей на доменную печь смеси ауэрбаховской и воронцовской руд									
21 авг. 1939 г.									
№ 1	31,8	660—700	3,9	0,95	620	1,05	0,6	1,4	60
№ 2	31,8	660—700	3,9	0,95	620	1,05	0,4	1,4	57—75
Работа с подачей на доменную печь гороблагодатских полумартитов									
22 авг. 1939 г.									
№ 1	31,4	680	4,1	0,70	608	1,07	0,6	1,6	76
№ 2	31,4	750	4,1	0,70	608	1,07	0,2	1,0	37—65

§ 25. Сравнение однокольцевой засыпи воронкой Парри с засыпью двумя регулируемыми концентрическими кольцами

Приведенные выше данные исследования не являются среднесуточными результатами, так как непрерывное наблюдение на протяжении всех суток над работой доменной печи по современному состоянию техники и методов исследования не представлялось возможным организовать.

Возможно, что отдельные кривые в действительности и довольно точно отражают среднесуточные результаты работы печи, но поскольку в этом нет уверенности, базировать на этом сравнение результатов нельзя.

Наиболее надежным критерием для сравнительной оценки приемов засыпи может служить коэффициент использования восстановительной способности газа и среднее содержание углекислоты в газе по сечению печи, рассчитанное исходя из предположения, что скорости газа одинаковы. Указанное предположение является также приближенным, поскольку в действительных условиях скорости газа довольно не равномерны по сечению печи, что может сильно сказаться на среднем значении содержания углекислоты в газе.

Здесь следует отметить, что неравномерность скоростей при засыпи аппаратом Парри вследствие большого изменения сопротивления шихты вместе с утонением рудной линзы к оси печи будет много больше, чем при засыпи двумя концентрическими кольцами, когда сопротивление шихты более равномерно по всему сечению печи.

Таким образом, результаты сравнения засыпи по диаграммам значения коэффициента использования восстановительной способности газа и среднего содержания углекислоты в сечении печи в момент исследования будут несколько сглаживать разницу между засыпью воронкой Парри и засыпью двумя концентрическими кольцами. В действительности эта разница с учетом скоростей будет еще больше.

Указанное выше сравнение следует рассматривать, как сопоставление в момент исследования результирующих итогов процесса доменной плавки, протекавших при одинаковых условиях, но с разницей в распределении материалов. Этот метод может служить для сравнения итогов доменного процесса и в разных условиях, так как критерий оценки и в этом случае правилен.

Из тепловых балансов доменной плавки за май 1939 г. можно установить, что разница в развитии непрямых восстановлений, которая оценивается повышенным содержанием углекислоты в газе на 1%, соответствует сбережению горючего примерно в 50 кг, чем мы можем воспользоваться для суждения о степени экономичности доменной плавки при сравнении отдельных кривых в момент исследования.

Ниже приводится расчет этой экономии древесного угля, для расходов горючего близких к 0,8 т/т чугуна.

В среднем за май на 1 т чугуна расход угля — 850 кг, колошникового газа — 3060 м³.

При 1% лишней углекислоты в газе на 1 т чугуна восстановится:

$$\frac{30,6 \cdot 32 \cdot 112}{2 \cdot 22,4 \cdot 48} = 51 \text{ кг железа.}$$

Экономия древесного угля составит $\frac{850 \cdot 51}{0,9434}$ примерно 50 кг.

1. Сравнение однокольцевой засыпи аппаратом Парри с двухкольцевой засыпью с недогрузкой внутреннего кольца

На фиг. 214 представлена сравнительная диаграмма, на которой приведены две типичных кривых: кривая 1 относится к исследованию от 24 июля 1939 г., проведенному в одинаковых условиях при засыпи с недогрузкой внутреннего кольца, а кривая 2 — к исследованию от 11 августа при засыпи воронкой Парри. Площадь между этими двумя кривыми указывает на тот выигрыш в отношении использования восстановительной способности газа, который имеет место при засыпи двумя концентрическими кольцами, хотя и с недогрузкой внутреннего кольца, по сравнению с засыпью аппаратом Парри.

При засыпи двумя концентрическими кольцами с недогрузкой внутреннего кольца коэффициент использования восстановительной способности газа равнялся 76,5%, и среднее содержание углекислоты в газе на горизонте в момент исследования — 11,9%, тогда как при засыпи воронкой Парри коэффициент использования восстановительной способности газа был всего 62%, а среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования — 9,3%.

Минимальное сбережение горючего, которое было получено в этом случае, может быть оценено из следующего расчета

$$(11,9 - 9,3) \cdot 50 = 130 \text{ кг.}$$

В действительности это сбережение горючего будет повидимому значительно больше, так как при проведенном выше расчете не приняты во внимание более высокие скорости центральной части печи, которые имеют место при засыпи аппаратом Парри, по сравнению с засыпью двумя концентрическими кольцами.

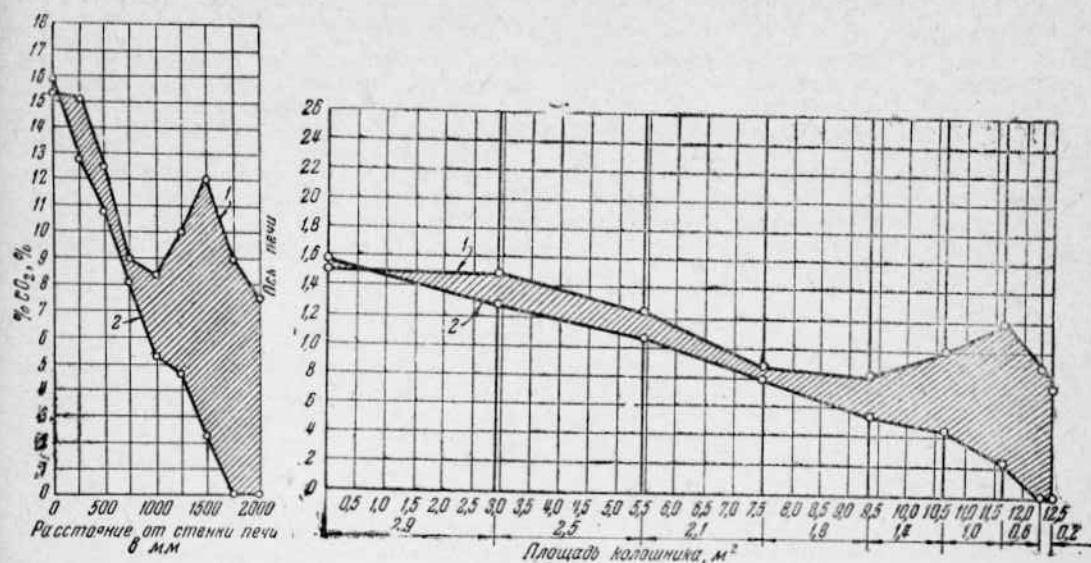
На фиг. 215 представлено сравнение работы доменной печи при засыпи с недогрузкой внутреннего кольца (кривая 1) по исследованию 24 июля 1939 г. с засыпью воронкой Парри (кривая 2) по исследованию 7 августа 1939 г.

В первом случае (кривая 1) коэффициент использования восстановительной способности газа $\kappa = 76\%$ и среднее содержание CO_2 на горизонте в момент исследования — 12,5%, во втором (кривая 2) $\kappa = 57\%$, а содержание CO_2 — 9,25%.

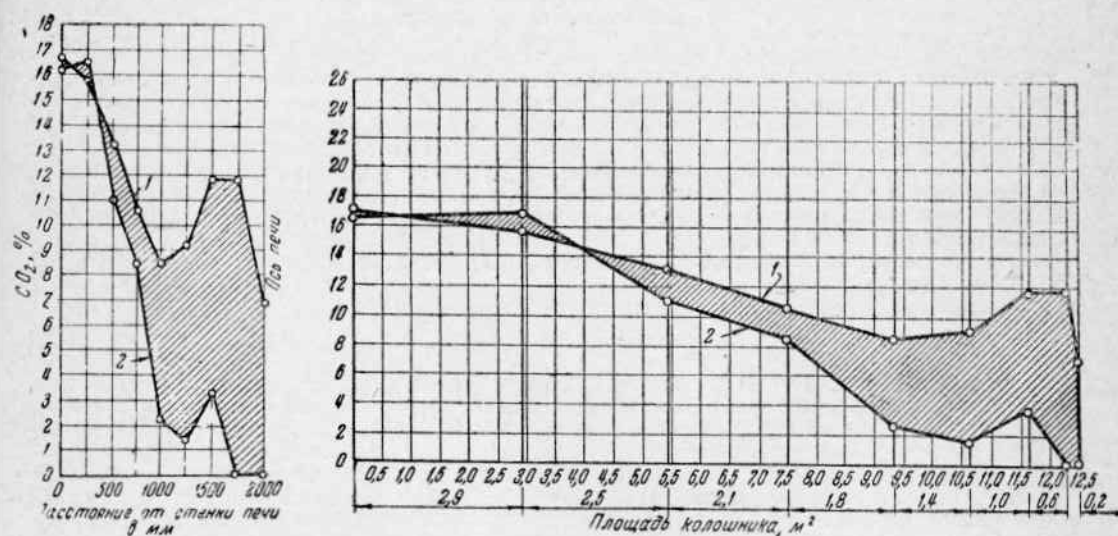
Минимальное сбережение горючего при этом может быть оценено:

$$(12,5 - 9,25) \cdot 50 = 162 \text{ кг.}$$

Таким образом, можно сделать заключение, что засыпь двумя концентрическими кольцами даже с недогрузкой внутреннего кольца много выгоднее, чем засыпь аппаратом Парри



Фиг. 214. Сравнение засыпи воронкой Парри (2) с засыпью с недогрузом внутреннего кольца (1): слева — в линейных координатах; справа — в площадных координатах (Кривая 1 от 24 июля 1939 г. при коэффициенте использования восстановительной способности газа $k = 76,5\%$ и среднем содержании CO_2 — $11,9\%$; кривая 2 от 11 августа 1939 г. при засыпи воронкой Парри имеет $k = 62\%$ и CO — $9,3\%$.)



Фиг. 215. Сравнение засыпи воронкой Парри (2) с засыпью с недогрузом внутреннего кольца (1) в линейных и в площадных координатах.

В условиях двухкольцевой засыпи, следовательно, основные восстановительные процессы доменной плавки идут интенсивнее, чем при однокольцевой засыпи, что приводит к лучшим экономическим результатам.

2. Сравнение однокольцевой засыпи аппаратом Парри с двухкольцевой засыпью с перегрузкой внутреннего кольца

На фиг. 216 приведено сравнение в одинаковых условиях содержания углекислоты (кривая 1) по исследованию от 23 июля 1939 г., сделанного при засыпи с перегрузкой внутреннего кольца, и исследование от 11 августа 1939 г. (кривая 2) при засыпи воронкой Парри. Сравнение этих кривых выявляет еще более рельефно выгоду засыпи двумя концентрическими кольцами.

Перегрузка центральной части доменной печи, хотя и менее выгодна в отношении работы горна, чем оптимальная засыпь, все же не оказывает неблагоприятного влияния на работу горна и обеспечивает выплавку горячих литейных чугунов при небольшом расходе горючего.

В первом случае (кривая 1) $k = 87\%$, а содержание CO_2 — $13,3\%$; во втором (кривая 2) $k = 62\%$, а содержание CO_2 — $9,3\%$.

Минимальное сбережение горючего при этом

$$(13,3 - 9,3) \cdot 50 = 200 \text{ кг.}$$

Второе сравнение засыпи воронкой Парри с засыпью двумя концентрическими кольцами с перегрузкой внутреннего кольца можно видеть на фиг. 217, где приведено содержание углекислоты в газе по сечению колошника на верхнем горизонте. На диаграммах кривая 1 соответствует работе доменной печи по исследованию от 19 июля 1939 г. при засыпи с перегрузкой внутреннего кольца, а кривая 2 соответствует работе доменной печи 7 августа 1939 г. при засыпи воронкой Парри.

В первом случае (кривая 1) $k = 76\%$, а CO_2 — $12,16\%$; во втором (кривая 2) $k = 57\%$, а CO_2 — $9,25\%$.

Минимальное сбережение горючего в момент исследования может быть оценено в

$$(12,16 - 9,25) \cdot 50 = 145 \text{ кг.}$$

В действительности это сбережение будет еще выше потому, что при воронке Парри центральный поток газов имеет большую скорость, чем периферийный.

В конечном результате можно сделать заключение, что в идентичных условиях засыпь двумя концентрическими кольцами с перегрузкой внутреннего кольца много выгоднее, чем засыпь аппаратом Парри.

3. Сравнение однокольцевой засыпи аппаратом Парри с засыпью двумя обособленными концентрическими кольцами

На фиг. 218 приведено сравнение содержания углекислоты в газе по сечению колошника на верхнем горизонте при засыпи воронкой Парри (кривая 2) с засыпью двумя обособленными кольцами (кривая 1). Состав газа в отношении содержания углекислоты при засыпи воронкой Парри взят по исследованию доменной печи от 11 августа 1939 г., а состав газа в отношении содержания углекислоты при засыпи двумя обособленными кольцами взят при исследовании от 3 июля 1939 г. Из сравнения кривых мы видим, что содержание углекислоты на периферии и у стенки печи незначительно отличается друг от друга, однако кривая, соответствующая работе с двумя обособленными кольцами, много выше, чем кривая при работе с засыпным аппаратом Парри.

В первом случае (кривая 1) $k = 82,5\%$, а CO_2 — $12,8\%$, во втором (кривая 2) $k = 62\%$, а CO_2 — $9,3\%$.

Минимальное сбережение горючего в момент исследования:

$$(12,8 - 9,3) \cdot 50 = 175 \text{ кг.}$$

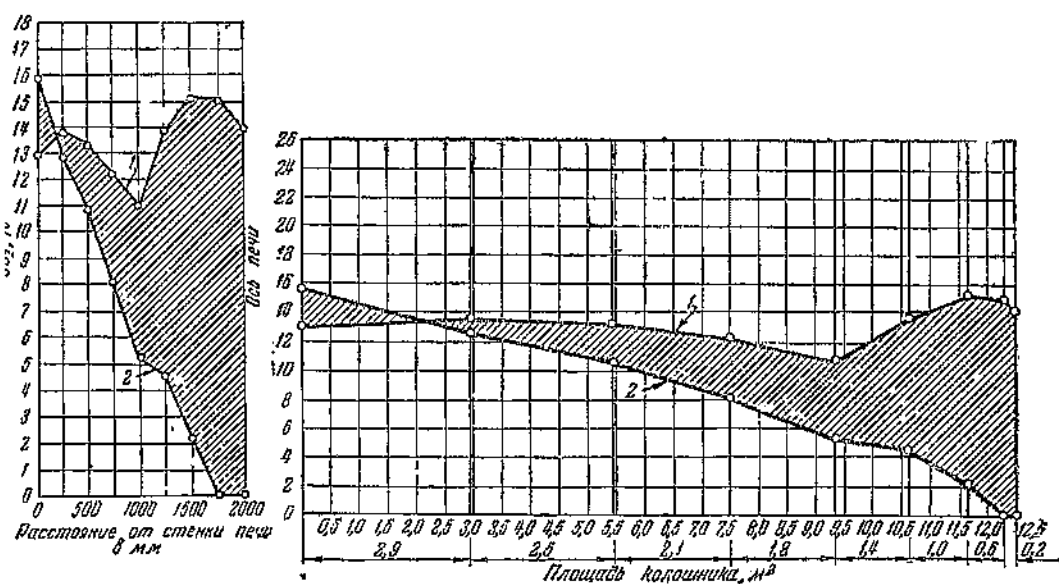
На фиг. 219 приведены результаты второго исследования состава газа в отношении содержания углекислоты при работе в аналогичных условиях с засыпью воронкой Парри (кривая 2) и с засыпью двумя обособленными кольцами (кривая 1). Данные при засыпи воронкой Парри относятся к исследованию от 7 августа 1939 г., а данные исследования при засыпи двумя обособленными кольцами к 10 июля 1939 г. Из диаграммы видно, что содержание углекислоты на периферии при засыпи воронкой Парри даже несколько выше, чем при засыпи двумя обособленными кольцами, но однако, как показывает заштрихованная на диаграмме площадка между кривыми, засыпь двумя обособленными кольцами много выгоднее засыпи аппаратом Парри.

В первом случае (кривая 1) $k = 83\%$, а CO_2 — $13,3\%$; во втором (кривая 2) $k = 57\%$, а CO_2 — $9,25\%$.

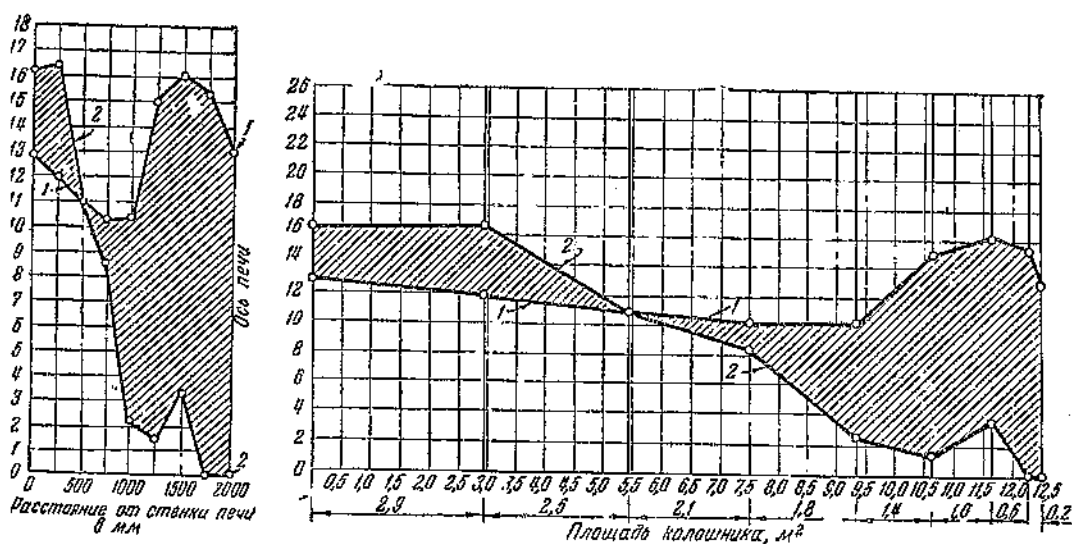
Минимальное сбережение расхода горючего

$$(13,3 - 9,25) \cdot 50 = 202 \text{ кг.}$$

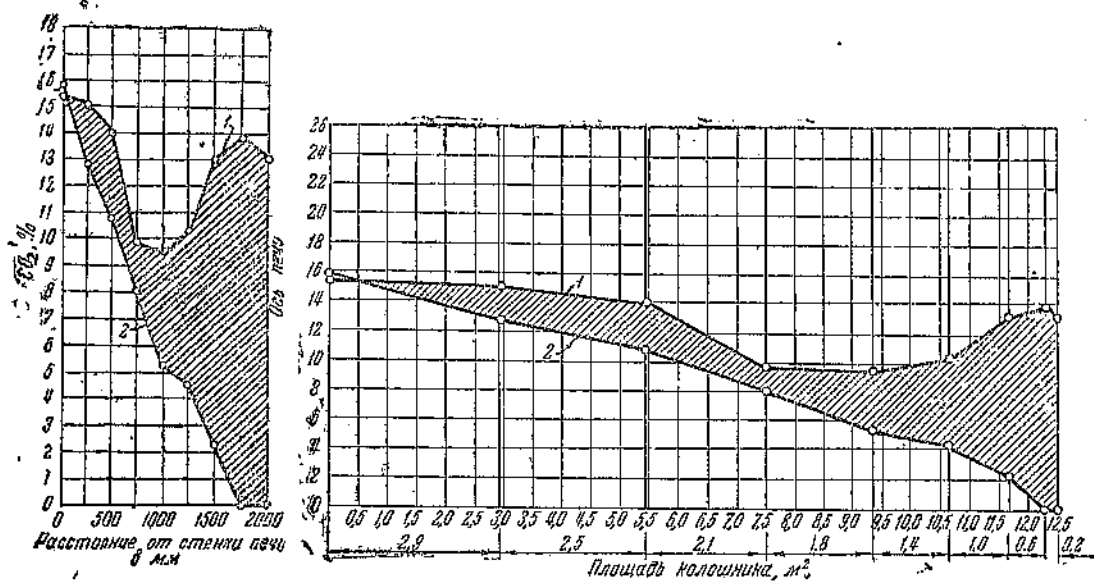
В действительности сбережение горючего будет еще выше.



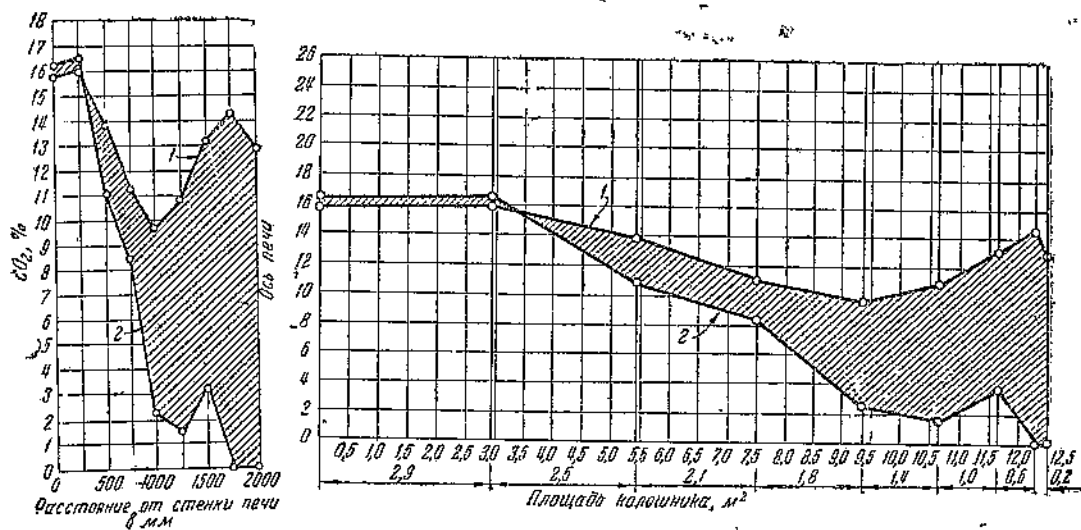
Фиг. 216. Сравнение засыпи воронкой Парри (2) с засыпью с перегрузкой внутреннего кольца (1) в линейных и в площадных координатах.



Фиг. 217. Сравнение засыпи воронкой Парри (2) с засыпью с перегрузом внутреннего кольца (1): в линейных и в площадных координатах.



Фиг. 218: Сравнение засыпи воронкой Парри (2) с засыпью с двумя обособленными кольцами (1) в линейных и в площадных координатах.



Фиг. 219: Сравнение засыпи воронкой Парри (2) с засыпью с двумя обособленными кольцами (1) в линейных и в площадных координатах.

На основании приведенных двух примеров сравнения засыпи воронкой Парри с засыпью двумя концентрическими обособленными кольцами можно сделать заключение, что последняя будет много выгоднее, чем засыпь аппаратом Парри.

4. Сравнение оптимальной засыпи двумя концентрическими кольцами с засыпью аппаратом Парри

На фиг. 220 представлено сравнение типовых результатов в отношении содержания углекислоты по сечению колошника на верхнем горизонте при засыпи воронкой Парри (кривая 2) с засыпью двумя концентрическими кольцами с примерно оптимальным распределением сыпи между ними (кривая 7). Оптимальная засыпь соответствует работе доменной печи 22 августа 1939 г., а засыпь воронкой Парри работе печи 11 августа 1939 г. Из диаграммы видно, что использование восстановительной способности газа при оптимальной засыпи много выше, чем при засыпи воронкой Парри.

Кривая 7 имеет $k = 86\%$, а $\text{CO}_2 = 14,5\%$, тогда как кривая 2 имеет $k = 62\%$, а $\text{CO}_2 = 9,3\%$.

Минимальное сбережение горючего равно

$$(14,6 - 9,3) \cdot 50 = 260 \text{ кг.}$$

Второй пример сравнения оптимальной засыпи с засыпью воронкой Парри в отношении содержания углекислоты по сечению колошника на верхнем горизонте можно видеть на фиг. 221. Кривая содержания углекислоты при оптимальной засыпи лежит много выше кривой при засыпи аппаратом Парри, что указывает также на невыгодность последней.

Кривая 7 имеет $k = 86\%$, а $\text{CO}_2 = 13,67\%$, тогда как кривая 2 имеет $k = 62\%$, а $\text{CO}_2 = 9,3\%$.

Минимальное содержание горючего при этих данных равняется

$$(13,67 - 9,3) \cdot 50 = 220 \text{ кг.}$$

Третий пример сравнения оптимальной засыпи с засыпью воронкой Парри выбран из такого расчета, чтобы содержание углекислоты на периферии при засыпи воронкой Парри было выше, чем при оптимальной засыпи. Это было сделано в условиях, когда оптимальная засыпь была получена при работе на более трудновосстановимых рудах, чем это имело место при работе воронкой Парри. Сравнение имело своей целью установить на сколько выгодной окажется оптимальная засыпь по сравнению с засыпью воронкой Парри в условиях, когда при воронке Парри наблюдается очень высокое использование восстановительной способности газа на периферии.

Кривая 7 содержания углекислоты по сечению колошника, изображенная на фиг. 222, соответствующая оптимальной засыпи, относится к 18 августа 1939 г., а кривая 2, представленная на тех же фигурах, дает содержание углекислоты в газе по сечению колошника при засыпи воронкой Парри, и относится к 7 августа 1939 г. Выгодность работы можно оценить из сравнения по диаграмме фиг. 222, где видно, что площадь между кривой 2 и кривой 7 на периферии меньше, чем площадь между кривой 7 и кривой 2 центральной части печи, что указывает на более выгодную работу доменной печи в отношении использования восстановительной способности газа в условиях оптимальной засыпи двумя концентрическими кольцами.

Кривая 7 имеет $k = 89\%$, а $\text{CO}_2 = 12,46\%$; тогда как кривая 2 имеет $k = 57\%$, а $\text{CO}_2 = 9,25\%$.

Минимальное сбережение горючего при оптимальной засыпи двумя концентрическими кольцами по сравнению с засыпью воронкой Парри в этом случае равняется:

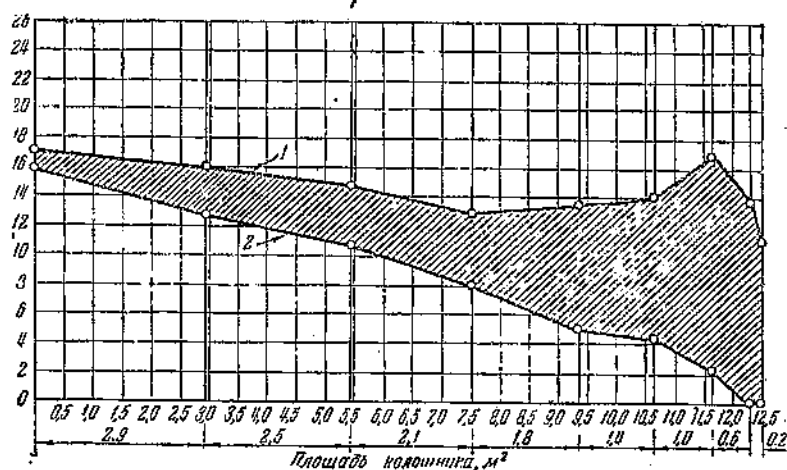
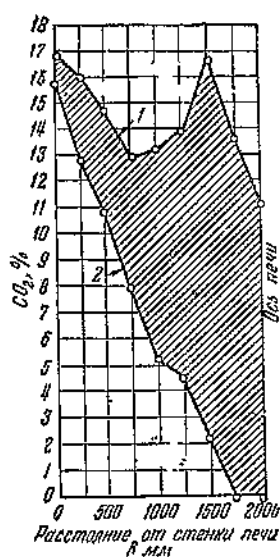
$$(12,46 - 9,25) \cdot 50 = 160 \text{ кг.}$$

В конечном результате можно сделать заключение из рассмотрения всех примеров сравнения оптимальной засыпи с засыпью воронкой Парри, что первое будет много выгоднее и обеспечит сбережение горючего по крайней мере от 160 до 260 кг.

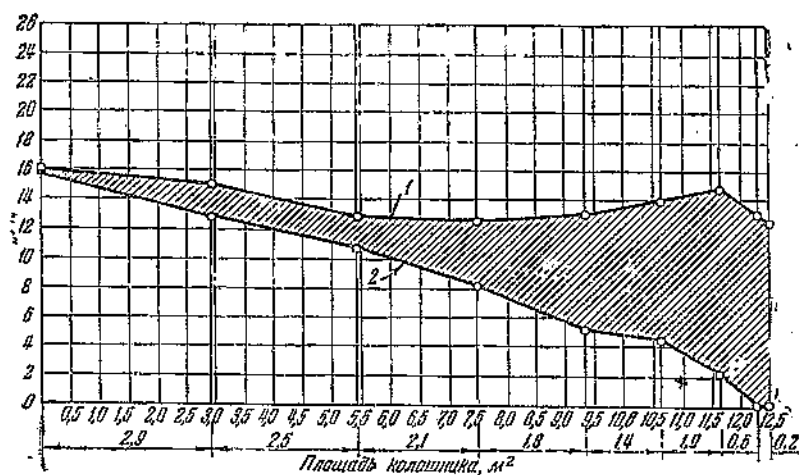
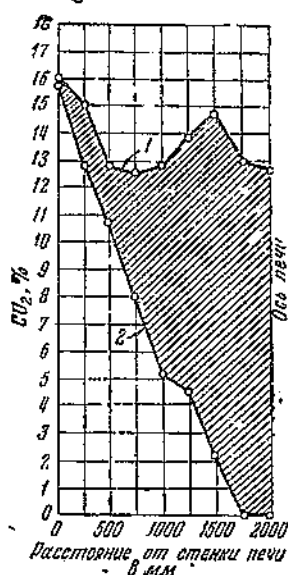
Сравнение лучших показателей работы доменной печи при засыпи аппаратом Парри с лучшими результатами работы в условиях оптимальной засыпи двумя концентрическими кольцами можно видеть из табл. 20.

Рассматривая данные таблицы сравнения работы доменной печи при засыпи аппаратом Парри с аппаратом с двойной засыпью, можно видеть, что условия работы были одинаковыми. Доменная печь работала на литейные чугуны как в том, так и в другом случае, примерно одного состава. Руды шли также одинаковые. Температура дутья при работе с засыпным аппаратом Парри была несколько выше — на 43° . Таким образом, доменная печь находилась несколько в более благоприятных условиях при работе с засыпным аппаратом Парри.

Расход металлических добавок, идущих в шихту, был одинаков, а расход руды на 1 т чугуна был несколько выше при работе с двойной засыпью, что



Фиг. 220. Сравнение оптимальной засыпи (1) с засыпью воронкой Парри (2) в линейных и в площадных координатах



Фиг. 221. Сравнение оптимальной засыпи (1) с засыпью воронкой Парри (2) в линейных и в площадных координатах.

Сравнение лучших показателей работы печи при засыпи аппаратом Парри с результатами работы при двухкольцевой засыпи

Технические показатели	Работа с воронкой Парри	Работа с двойной засыпью
Величина колоши древесного угля, м ³	10,8	10,8
Загружено в периферийное кольцо высокогорских, гороблагодатских, ауэрбаховских и воронцовских руд, кг	2200	2250
Загружено во внутреннее кольцо воронцовской руды, кг	нет	850
Загружено руды во внутреннее кольцо, %	нет	27,4
Общий вес рудной сыпи, кг	2200	3100
Расход руды на 1 т чугуна, т	1,60	1,71
Расход металлических добавок на 1 т чугуна, т	0,128	0,126
Температура дутья °С	650	607
Производство чугуна в сутки, т	151	182
Время пребывания шихты, часы	4,2	4,7
Коэффициент полезного объема, м ³ /т	1,29	1,07
Сорт чугуна (название)	литейный	литейный
Содержание кремния в чугуне, %	1,85	1,21
Содержание марганца в чугуне, %	0,77	0,87
Расход древесного угля на 1 т чугуна по объему, м ³	7,8	5,6
Вес м ³ древесного угля, кг	135	135
Расход древесного угля на 1 т чугуна по весу, т	1,08	0,76
Расход нелетучего углерода на 1 т чугуна по весу, кг	735	517
Максимальное содержание углекислоты на горизонте, %	14,0	16,5
Коэффициент использования восстановительной способности газа, %	66	70
Среднее содержание углекислоты на верхнем горизонте, %	9,2	11,7

указывает также на несколько более благоприятные условия в работе в доменной печи опять-таки при засыпном аппарате Парри.

Таким образом условия работы доменной печи были вполне одинаковы и даже несколько более благоприятные при работе с воронкой Парри.

Результаты работы печи рельефно выявляют большую экономичность доменной плавки с двойной засыпью по сравнению с засыпью аппаратом Парри. Если при засыпи аппаратом Парри на доменной печи держалась подача рудной сыпи 2200 кг на колошу 10,8 м³, то переход на двойную засыпь позволил не только оставить полностью эту сыпь в периферийном кольце, но даже несколько увеличить, доведя до 2250 кг, кроме того, во внутреннее кольцо получилось возможным дать 850 кг и таким образом вместе рудная сыпь составила 3100 кг, т. е. была утяжелена на 40%.

В полном соответствии с утяжелением рудной сыпи получился и расход древесного угля на 1 т чугуна: при двойной засыпи 5,6 м³, вместо 7,8 м³ при работе с засыпным аппаратом Парри..

Что касается расхода нелетучего углерода, то при работе с двойной засыпью он составлял 517 кг, а при работе с аппаратом Парри — 735 кг.

Производительность доменной печи возросла при засыпи аппаратом с двойной засыпью на 25%.

Как видно, можно было по условиям работы печи получить большой рост производительности, но эта возможность оказалась нереализованной вследствие задержек организационного характера в подаче материалов.

При переходе с засыпи воронкой Парри на двойную засыпь максимальное содержание углекислоты на горизонте увеличилось с 14 до 16,5%. Коэффициент

использования восстановительной способности газа без учета скорости возрос с 66 до 70% и среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования также возросло с 9,2 до 11,7%.

В условиях работы доменной печи № 3 Серовского завода применение засыпного аппарата Парри вызывает перерасход горючего порядка 150—300 кг летучего углерода на тонну чугуна.

В конечном результате сравнение итоговых результатов доменного процесса по коэффициенту использования восстановительной способности газа и среднему содержанию углекислоты совпадает со сравнением по техническим показателям доменной плавки и позволяет сделать вывод, что при всех случаях двукольцевой засыпки доменный процесс протекает интенсивнее и экономичнее, чем при однокольцевой засыпке аппаратом Парри.

§ 26. Сравнение различных случаев засыпки двумя концентрическими кольцами

Так как данные отдельных исследований не могут точно отражать среднесуточный характер работы доменной печи, то и здесь сравнение типовых результатов, полученных при различном соотношении засыпки в периферийном и внутреннем кольце, целесообразно провести с оценкой по коэффициенту использования восстановительной способности газа и среднему содержанию углекислоты на горизонте в момент исследования. Такое сравнение будет правильным и потому, что скорости газов по сечению печи не так много разнились при изменении соотношения рудной сыпи, поступавшей в периферийное и внутреннее кольцо.

Особенно показательны диаграммы состава газа в отношении содержания углекислоты, выполненные в площадных координатах, так как они дают возможность из сравнения площадей между отдельными кривыми сделать заключение о выгодности распределения материалов, имевшего место в момент исследования в столбе шихты.

1. Сравнение оптимальной засыпки с засыпкой с недогрузкой внутреннего кольца

На фиг. 223 представлено сравнение типичной оптимальной засыпки с засыпкой с недогрузом внутреннего кольца в отношении содержания углекислоты по сечению колошника на верхнем горизонте. Сравнения позволяют установить выгодность оптимального распределения сыпи по сравнению с засыпкой с недогрузом внутреннего кольца в отношении использования восстановительной способности газа. Эта выгодность характеризуется площадью между двумя приведенными кривыми. Кривая 1 имеет $k = 86\%$, а $\text{CO}_2 = 13,67\%$; тогда как кривая 2 имеет $k = 76,5\%$, а $\text{CO}_2 = 11,9\%$.

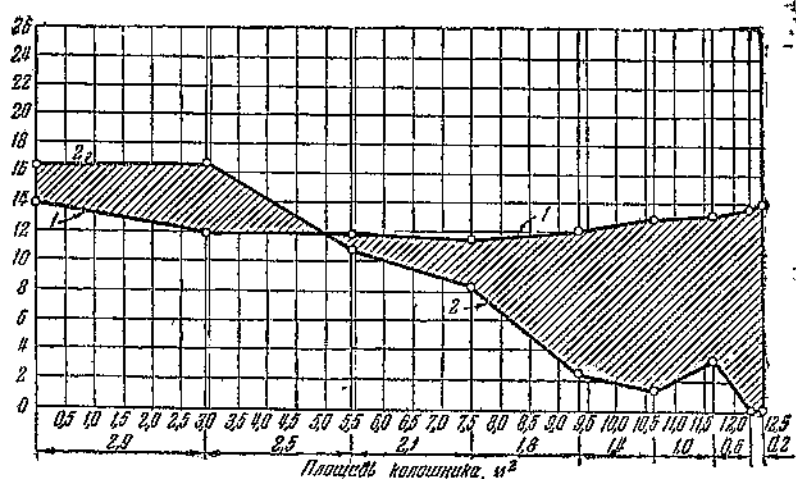
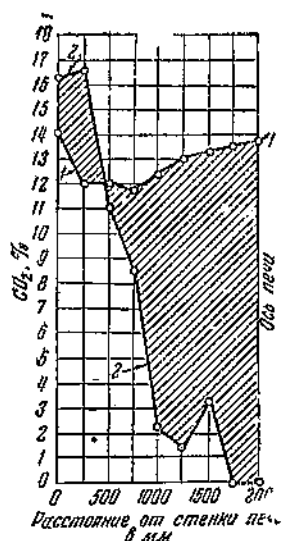
Минимальное сбережение горючего может быть оценено в $(13,67 - 11,9) \cdot 50 = 89 \text{ кг}$.

Но далеко не всегда оптимальная засыпка обеспечивает лучшее использование восстановительной способности газа. В работе доменной печи наблюдаются и такие случаи, когда при недогрузке рудной сыпью внутреннего кольца имело место повышение содержания углекислоты на периферии по сравнению с оптимальной засыпкой, а это обстоятельство благодаря большой площади на периферии создавало благоприятные возможности для повышения использования восстановительной способности газа по всему сечению печи. Приведем для этого в качестве примера сравнение результатов оптимальной засыпки с засыпкой с недогрузом внутреннего кольца в отношении содержания углекислоты на фиг. 224.

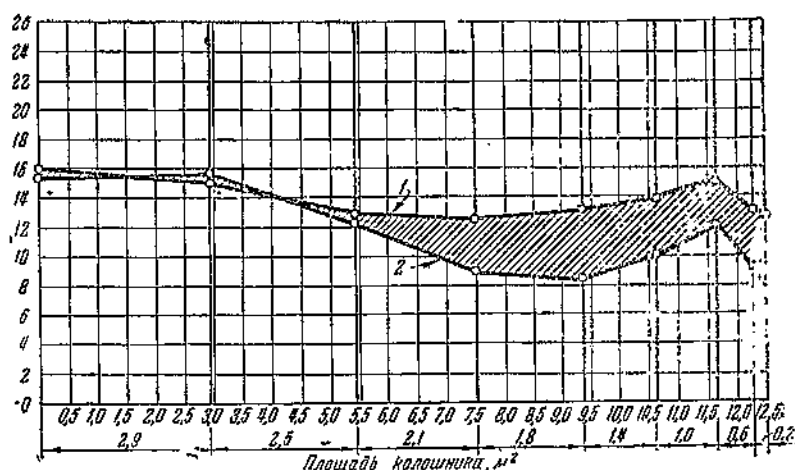
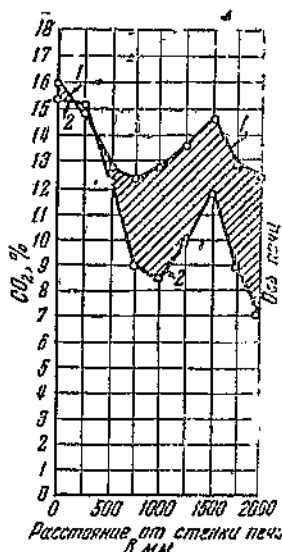
Рассматривая данные в линейных координатах, мы находим, что в сравниваемых случаях засыпки на периферии кривая содержания углекислоты при недогрузке внутреннего кольца находится выше кривой оптимальной засыпки, а в центральной части печи, наоборот, кривая оптимальной засыпки находится выше кривой, соответствующей засыпке с недогрузкой внутреннего кольца.

Условившись обозначать площадь между двумя кривыми со знаком плюс, когда кривая оптимальной засыпки находится выше кривой, характеризующей сравниваемую с ней засыпку, и со знаком минус, когда последняя находится выше кривой оптимальной засыпки, имеем возможность установить, что в линейных координатах площадь со знаком плюс много превышает площадь со знаком минус.

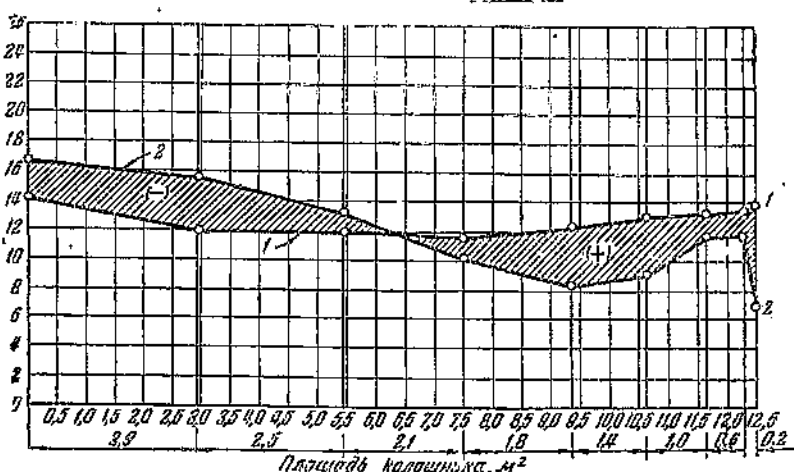
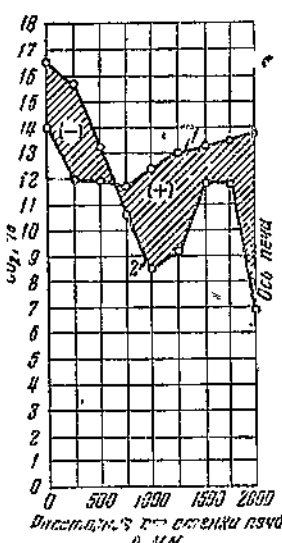
Но из этого еще нельзя сделать заключение, что работа в условиях оптимальной засыпки более экономична, по сравнению с засыпкой с недогрузкой внутреннего кольца. Точно заключение об этом можно сделать только при рассмотрении диаграммы в площадных координатах, когда площадь со знаком плюс примерно равна площади со знаком минус. Это обстоятельство указывает, что в данных условиях работа доменной печи при засыпке с недогрузкой внутреннего кольца была настолько же экономичной, как и работа с оптимальной засыпкой.



Фиг. 222. Сравнение оптимальной засыпки (1) с засыпкой воронкой Парри (2) в линейных и в площадных координатах.



Фиг. 223. Сравнение оптимальной засыпки (1) с засыпкой с недогрузом внутреннего кольца (2) в линейных и в площадных координатах.



Фиг. 224. Сравнение оптимальной засыпки (1) с засыпкой с недогрузом внутреннего кольца (2) в линейных и в площадных координатах.

Кривая 1 имеет $k = 89\%$, а среднее содержание CO_2 — $12,46\%$; тогда как кривая 2 имеет $k = 76\%$, а CO_2 — $12,5\%$.

Несмотря на то, что коэффициент использования восстановительной способности газа в условиях оптимальной засыпи был высоким, а при засыпи с недогрузкой внутреннего кольца на периферии получалось более высокое содержание углекислоты, имело место в обоих сравниваемых случаях одинаковое среднее содержание углекислоты по сечению печи.

На основании приведенных результатов в отношении сравнения условий оптимальной засыпи с засыпью с недогрузом внутреннего кольца, можно сделать заключение, что вообще оптимальная засыпь выгоднее, чем засыпь с недогрузом внутреннего кольца, однако в известных условиях работы доменной печи с обеспечением получения на периферии высокого содержания углекислоты в газе, может оказаться, что засыпь с недогрузкой внутреннего кольца настолько же экономична, как и оптимальная засыпь. В практических условиях работу доменной печи с недогрузкой внутреннего кольца можно рекомендовать, например, при выплавке литейных чугунов, так как в этом случае будут создаваться более благоприятные условия в отношении работы горна доменной печи.

2. Сравнение оптимальной засыпи с засыпью с перегрузом внутреннего кольца

На фиг. 225 представлено сравнение типовых кривых содержания углекислоты по сечению печи при оптимальной засыпи (1) с засыпью с перегрузкой внутреннего кольца (2), причем кривая 1 от 22 августа 1939 г., а кривая 2 от 19 июля 1939 г. Из сравнения площади со знаком плюс и площади со знаком минус мы видим, что в условиях оптимальной засыпи работа доменной печи была более экономичной. Тот выигрыш, который получился при засыпи с перегрузкой внутреннего кольца в отношении лучшего использования в центральной части печи восстановительной способности газа далеко не перекрывается ухудшением использования, которое имело место на периферии.

Кривая 1 имеет $k = 86\%$, а CO_2 — $13,67\%$; тогда как кривая 2 имеет $k = 76\%$, а CO_2 — $12,16\%$.

Минимальное сбережение горючего при оптимальной засыпи в сравниваемых условиях равняется $(13,76 - 12,16) \cdot 50 = 90$ кг.

В некоторых случаях работы доменной печи однако может иметь место и такое положение, когда засыпь с перегрузкой внутреннего кольца может оказаться более экономичной, чем оптимальная засыпь. На фиг. 226, представлено сравнение кривой 1 (от 18 августа 1939 г.) содержания углекислоты оптимальной засыпи с кривой 2 (от 23 июля 1939 г.), полученной при засыпи с перегрузкой внутреннего кольца. Сравнение площадей между этими кривыми показывает, что площадь со знаком плюс, т. е. работа в отношении использования восстановительной способности газа при засыпи с перегрузкой внутреннего кольца, оказалась выгоднее, чем оптимальная засыпь. Указанное имело место при сравнительно небольшой перегрузке рудной сыпью внутреннего кольца.

Кривая 1 имеет $k = 87\%$, а CO_2 — $13,3\%$, тогда как кривая 2 имеет $k = 89\%$, а CO_2 — $12,46\%$.

Несмотря на лучший коэффициент использования восстановительной способности газа, который имел место при оптимальной засыпи, все же среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования было более высоким при засыпи с перегрузкой внутреннего кольца. Минимальное сбережение горючего, которое получилось в этом случае, может быть оценено в пользу засыпи с перегрузкой внутреннего кольца в $(13,3 - 12,46) \cdot 50 = 42$ кг.

Из сравнения типичных результатов работы доменной печи в условиях засыпи с перегрузкой внутреннего кольца и оптимальной засыпи можно сделать заключение, что последняя будет более экономичной, однако в некоторых случаях засыпь с перегрузкой внутреннего кольца может оказаться несколько выгоднее, чем оптимальная засыпь, что можно видеть из приведенных двух примеров.

В практических условиях засыпь с перегрузкой внутреннего кольца можно применять с выгодой только при выплавке холодных передельных чугунов. Перегрузка внутреннего кольца рудной сыпью несомненно отражается на ухудшении температурного режима горна доменной печи, а это обстоятельство создает менее благоприятные результаты особенно при выплавке в этих условиях литейных чугунов.

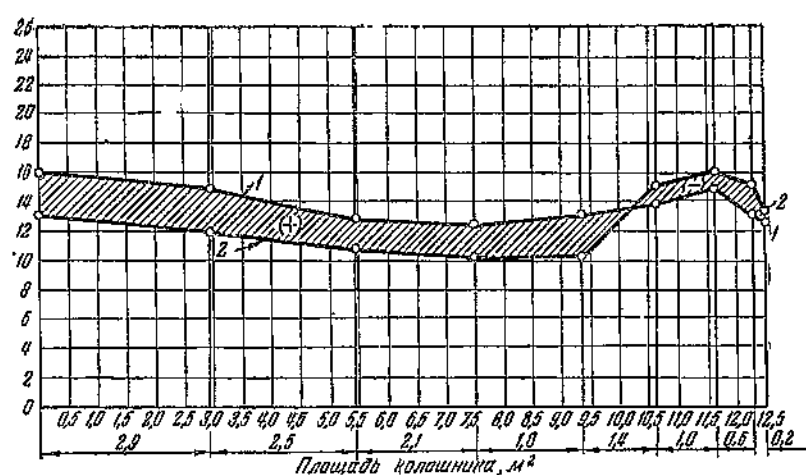
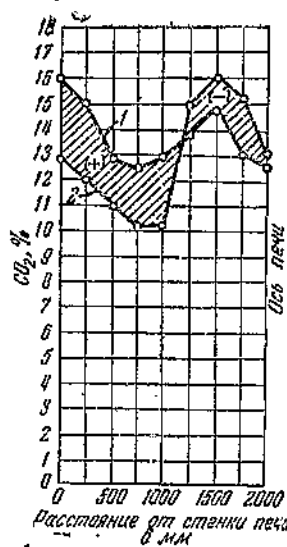
Вообще говоря, возможность выплавки литейных чугунов в условиях перегрузки рудной сыпью внутреннего кольца имеется, что можно было видеть из случаев работ доменной печи, и такой режим способствует снижению содержания углерода в чугуне.

3. Сравнение оптимальной засыпи с засыпью двумя обособленными кольцами

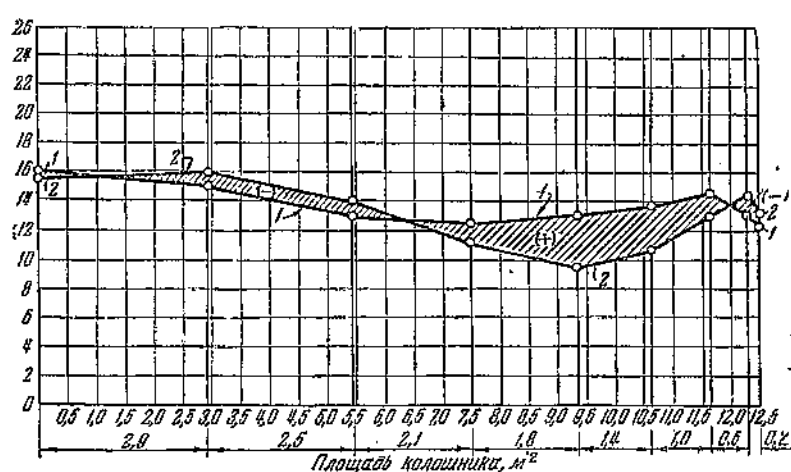
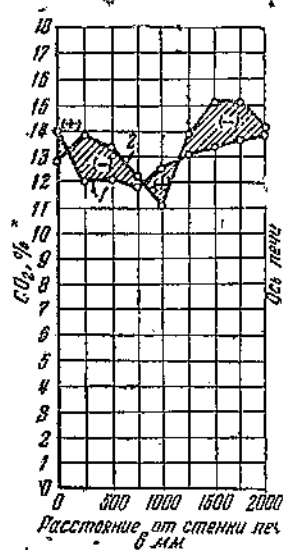
На фиг. 227 приведено сравнение содержания углекислоты по сечению колошника на верхнем горизонте в условиях оптимальной засыпи 1 и в условиях засыпи двумя обособленными кольцами 2. Площади между двумя упомянутыми кривыми со знаком плюс значительно превышают площади со знаком минус, что указывает на выгодность в данном случае оптимальной засыпи.

Кривая 1 имеет $k = 86\%$, а CO_2 — $13,67\%$, тогда как кривая 2 имеет $k = 83\%$, а CO_2 — $13,3\%$.

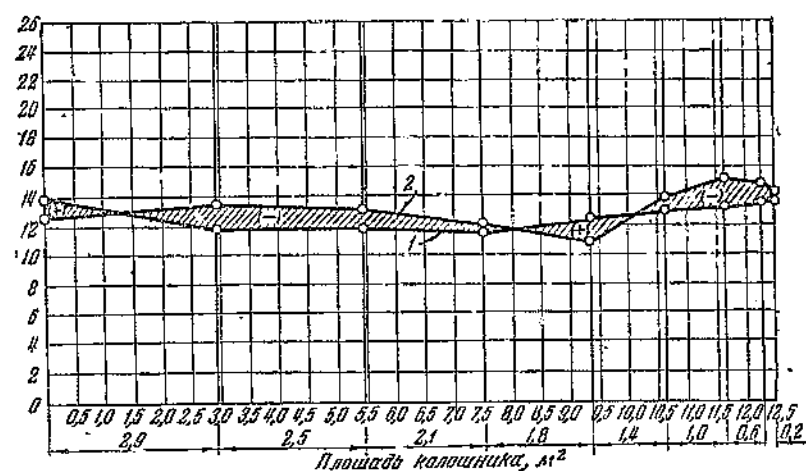
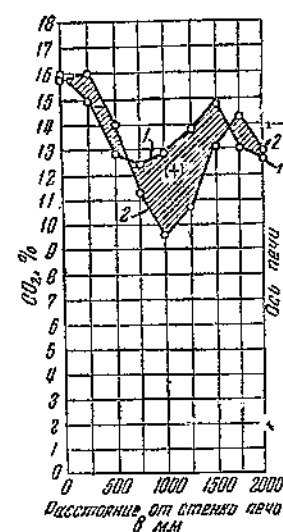
Кривая 1 от 22 августа 1939 г., кривая 2 — от 30 июля 1939 г.



Фиг. 225. Сравнение оптимальной засыпи (1) с засыпью с перегрузкой внутреннего кольца (2) в линейных и в площадных координатах.



Фиг. 226. Сравнение оптимальной засыпи (1) с засыпью с перегрузкой внутреннего кольца (2) в линейных и в площадных координатах.



Фиг. 227. Сравнение оптимальной засыпи (1) с засыпью двумя обособленными кольцами (2) в линейных и в площадных координатах.

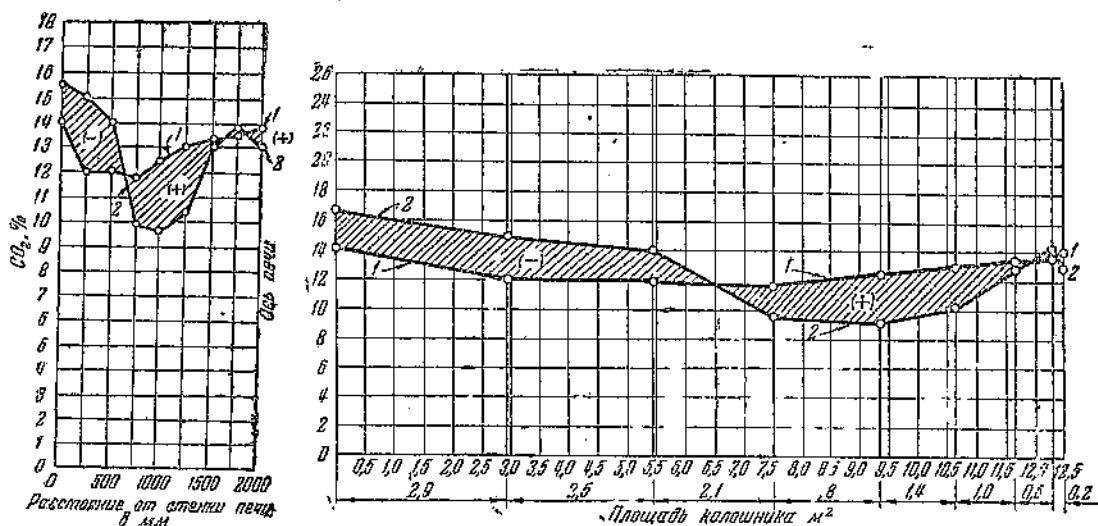
Минимальное сбережение горючего, которое получается в этом случае при оптимальной засыпи, равняется $(13,76 - 11,3) \cdot 50 = 22 \text{ кг}$.

На фиг. 228 представлено сравнение содержания углекислоты в газе в условиях оптимальной засыпи с содержанием углекислоты в условиях засыпи двумя обособленными кольцами, когда на периферии получается большее содержание углекислоты, чем при оптимальной засыпи. Площадь со знаком плюс меньше площади со знаком минус, что указывает на несколько большую экономичность доменной плавки при засыпи двумя обособленными кольцами.

Кривая 1 от 18 августа 1939 г. имеет $k = 89\%$, $\text{CO}_2 = 12,46\%$, тогда как кривая 2 от 31 июля 1939 г. имеет $k = 82,5\%$ при $\text{CO}_2 = 12,8\%$.

Несмотря на то, что коэффициент использования восстановительной способности газа в условиях оптимальной засыпи был выше, однако среднее содержание углекислоты было более высокое при засыпи двумя обособленными кольцами. Минимальная экономия горючего, которая имела место в момент исследования при засыпи двумя обособленными кольцами по сравнению с оптимальной может быть оценена в $(12,8 - 12,46) \cdot 50 = 17 \text{ кг}$.

Итак, работа доменной печи при засыпи двумя обособленными кольцами была даже несколько экономичнее работы в условиях оптимальной засыпи.



Фиг. 228. Сравнение оптимальной засыпи (1) с засыпью двумя обособленными кольцами (2) в линейных и в площадных координатах.

Если сравнивать лучшие результаты, полученные на работе на одних и тех же рудах и на одинаковые чугуны, то в этих условиях более экономичные результаты доменной плавки дает оптимальная засыпь. Указанное подтверждается приведенной ниже табл. 21, характеризующей работу доменной печи № 3 на сырых бакальских рудах с различным режимом распределения материалов по сечению колошника. Из таблицы можно видеть, что наиболее экономичные результаты доменной плавки были получены при работе печи с оптимальным режимом засыпи, когда получился расход нелетучего углерода 522 кг на тонну чугуна, в то время как засыпь с недогрузом внутреннего кольца, правда при несколько более бедной руде, привела к расходу нелетучего углерода в 660 кг на тонну передельного чугуна.

При режиме засыпи двумя обособленными кольцами, что имело место при работе доменной печи на мокрой руде и сильно увлажненном угле, расход нелетучего углерода 652 кг на тонну чугуна.

Во всех случаях доменная печь работала с температурой нагрева дутья примерно одинаковой, изменяющейся в пределах от 600 до 644°.

Производительность доменной печи обратно пропорциональна расходу горючего: максимальная производительность получена при режиме оптимальной засыпи, а минимальная — при засыпи двумя обособленными кольцами при работе на увлажненном угле и мокрой руде.

Сравнение различных режимов засыпи при работе печи № 3 на бакальских рудах

Технические показатели	Оптимальная засыпь	Засыпь с недогрузом внутреннего кольца	Засыпь с перегрузом внутреннего кольца	Засыпь двумя обособленными кольцами	
Величина колоши древесного угля, м³	10,8	10,8	При исследовании не было случая такого режима засыпи	10,8	
Подача в периферийное кольцо сырой бакальской руды, кг	2200	2500		1950	
Подача во внутреннее кольцо сырой бакальской руды, кг	900	600		1050	
Подача руды во внутреннее кольцо, %	29,3	19,3		35	
Общий вес рудной сыпи, кг	3100	3100		3000	
Расход руды на 1 т чугуна, т	1,62	1,90		1,94	
Расход металл. добавок на 1 т чугуна, т	нет	нет		нет	
Температура дутья, °С	600	600		644	
Выплавка чугуна в сутки, т	163	155		134	
Время пребывания шихты, часы	4,7	3,9		4,7	
Коэффициент использования полезного объема, м³/т	1,19	1,26		1,44	
Сорт чугуна	Передельный				
Содержание кремния в чугуне, %	0,31	0,82		1,16	
Содержание марганца в чугуне, %	1,0	1,64		2,10	
Расход древесного угля на 1 т чугуна, м³	5,65	7,28		6,85	
Вес 1 м древесного угля, кг	135	135		135	
Расход древесного угля на 1 т чугуна, кг	0,77	0,98		0,92	
Расход нелегучего углерода на 1 т чугуна, т	522	660		652	
Максимальное содержание углекислоты на горизонте, %	12,0	16,6		12,3	
Коэффициент использования восстановительной способности газа, %	92	81		94	
Среднее содержание углекислоты на горизонте, %	11,0	13,3		10,2	

Время пребывания шихты в условиях оптимальной засыпи 4,7 часа, тогда как при повышении расхода горючего при засыпи с недогрузкой внутреннего кольца это время равнялось 3,9 часа. Меньшее время пребывания при засыпи с недогрузкой внутреннего кольца получалось в результате повышенного расхода горючего. Некоторый перерасход горючего при засыпи с недогрузкой внутреннего кольца и при засыпи двумя обособленными кольцами имел место в результате выплавки более горячих чугунов, но разницу в расходе горючего нельзя объяснить только этим. В основном экономия горючего при оптимальной засыпи по сравнению с другими типами получилась в результате лучшего распределения материалов.

Здесь небезынтересно отметить, что среднее содержание углекислоты на горизонте в условиях оптимальной засыпи было меньше, чем в условиях засыпи с недогрузкой внутреннего кольца. Это можно с одной стороны объяснить тем, что данные момента исследования отвечали среднесуточным. Однако, если это не так, то в связи с этим необходимо установить, является ли максимальный процент восстановимости рудной сыпи наиболее выгодным для работы доменной печи. Если пониженный процент содержания углекислоты в среднем по горизонту в условиях оптимальной засыпи действительно отвечает средней характеристике работы доменной печи, то можно было бы в этом случае сделать заключение, что наиболее выгодно в отношении расхода горючего не максимальное развитие процессов непрямого восстановления, а некоторое оптимальное.

Максимальное содержание углекислоты на горизонте в момент исследования

при оптимальной засыпи было 12%, тогда как при засыпи с недогрузкой внутреннего кольца оно достигало 16,5%. Это максимальное содержание углекислоты наблюдалось в том и другом случае у стенки печи. Коэффициент использования восстановительной способности газа был больше при оптимальной засыпи.

Во всех случаях, вне зависимости от решения вопроса о той или другой степени выгодности развития процессов прямых восстановлений в доменной печи, можно сделать по результатам работы доменной печи заключение, что наилучшим режимом засыпи в условиях работы на бакальских сырых рудах на передельные чугуны является оптимальная засыпь с подачей во внутреннее кольцо 29,3% руды; при подаче меньшего количества рудной сыпи в 19,3% и при подаче большего количества в 35% наблюдаются менее удовлетворительные результаты в отношении расхода горючего.

Работа доменной печи на передельные чугуны при проплавке высокогорских и гороблагодатских руд, преимущественно полумартитов, характеризуется табл. 22.

Таблица 22

Сравнение различных режимов засыпи при работе печи № 3 на высокогорских и гороблагодатских рудах при выплавке передельных чугунов

Технические показатели	Оптимальная засыпь	Засыпь с недогрузом внутреннего кольца	Засыпь с перегрузом внутреннего кольца	Засыпь с двумя обособленными кольцами
Величина колоши древесного угля, м^3	10,8	10,8	Случаев работы на передельные чугуны с таким режимом засыпи не было	10,8
Подача в периферийное кольцо: высокогорских руд, кг	1900	1800		2010
гороблагодатских полумартитов, кг	—	—		—
Подача во внутреннее кольцо: гороблагодатских руд, кг	—	900		900
высокогорских руд, кг	900	—		—
Подача руды во внутреннее кольцо, %	32,1	33,3		30,9
Общий вес рудной сыпи, кг	2800	2700		2910
Расход руды на 1 т чугуна, м^3	2,12	2,06		2,74
Расход металлических добавок на 1 т чугуна, кг	67	нет		34
Температура дутья, $^{\circ}\text{C}$	675	650		640
Выплавка чугуна в сутки, т	204	162		147
Время пребывания шихты, часы	3,9	4,2		4,3
Коэффициент полезного объема, $\text{м}^3/\text{т}$	0,96	1,20		1,32
Сорт чугуна		передельный		
Содержание кремния в чугуне, %	0,49	0,8		0,65
Содержание марганца в чугуне, %	0,77	1,7		1,21
Расход древесного угля на тонну чугуна, м^3	5,98	7,3		7,8
Вес 1 м^3 древесного угля, кг	135	135		135
Расход древесного угля на 1 т чугуна, т	0,81	0,98		1,05
Расход нелетучего углерода на 1 т чугуна, кг	552	672		718
Максимальное содержание углекислоты на горизонте, %	14,0	16,1		14,3
Коэффициент использования восстановительной способности газа, %	90	75		84
Среднее содержание углекислоты на верхнем горизонте, %	12,5	12,2		12,0

Из табл. 22 видно, что при работе на передельные чугуны наилучшие результаты получаются при режиме оптимальной засыпи, когда расход нелетучего углерода на тонну чугуна составляет 552 кг вместо 672 кг при засыпи с недогру-

зом внутреннего кольца и 718 кг при засыпи двумя обособленными кольцами.

Некоторый перерасход горючего при режиме засыпи двумя обособленными кольцами был получен в результате проплавки очень бедных руд, на что указывает большой их расход в 2,74 т, при количестве металлических добавок 34 кг на тонну чугуна.

Но такой большой перерасход как 166 кг на тонну чугуна нельзя отнести исключительно за счет ухудшения экономичности работы доменной печи в связи с проплавкой более бедных руд. Разница в расходе горючего между оптимальной засыпью и засыпью с недогрузом внутреннего кольца составляет 120 кг, что также нельзя отнести за счет выплавки более горячих чугунов в случае засыпи с недогрузкой внутреннего кольца.

Производительность доменной печи была здесь также обратно пропорциональна расходу горючего в условиях оптимальной засыпи 204 т: при засыпи с недогрузкой внутреннего кольца — 162 т и при засыпи двумя обособленными кольцами — 147 т.

Время пребывания шихты в доменной печи было минимальным при оптимальной засыпи и составляло всего 3,9 часа. Такое небольшое время пребывания при проплавке сравнительно трудновосстановимых руд — магнитных железняков и полумартитов, может считаться очень небольшим и указывает на исключительно благоприятные условия, которые имеются в доменной печи при хорошем распределении материалов в отношении подготовки рудной сыпи прямыми восстановлениями до прихода в горн доменной печи.

Коэффициент использования полезного объема равнялся 0,96 м³ на тонну чугуна, что при работе на довольно трудновосстановимых рудах является весьма хорошим результатом.

Таким образом, условия оптимальной засыпи позволяют вести доменную печь форсированным ходом и при этом не получать перерасхода горючего.

При выплавке на доменной печи литейных чугунов с подачей на периферию высокогорских и гороблагодатских магнитных железняков и полумартитов, а во внутреннее кольцо легковосстановимых ауэрбаховских и воронцовских руд, наиболее оптимальным режимом засыпи оказалась засыпь с недогрузкой внутреннего кольца, что видно из табл. 23.

Минимальный расход горючего был получен при направлении во внутреннее кольцо 27,4% рудной сыпи, когда расход нелетучего углерода составил 517 кг против 593 кг, полученных при оптимальной засыпи 632 кг — при засыпи с перегрузкой внутреннего кольца и 647 кг — при засыпи двумя обособленными кольцами. Частично пониженный расход горючего при засыпи с недогрузом внутреннего кольца может быть объяснен подачей несколько большего количества металлических добавок (125 кг на тонну чугуна вместо 60 кг, имевших место при оптимальной засыпи).

С другой стороны, при засыпи с недогрузом внутреннего кольца выплавлялись более горячие чугуны при содержании кремния 1,91 вместо 1,2%, имевших место в условиях оптимальной засыпи. Максимальная производительность доменной печи была при оптимальной засыпи 201 т, в то время как при засыпи с недогрузом внутреннего кольца производительность была 182 т.

Использование восстановительной способности газа, а следовательно, и развития не прямых восстановлений было более высоким при оптимальной засыпи; когда коэффициент использования восстановительной способности газа равнялся 90%, а среднее содержание углекислоты на верхнем горизонте в момент исследования было 12,7%. При режиме засыпи с недогрузом внутреннего кольца получился более низкий коэффициент использования восстановительной способности газа в 71% и более низкое среднее содержание углекислоты на верхнем горизонте в момент исследования 11,1%, но зато более высокое содержание углекислоты на периферии и у стенки печи, достигающее до 16,2%.

В конечном результате из рассмотрения данных исследования можно видеть, что наиболее выгодной является работа доменной печи в условиях засыпи с недогрузом внутреннего кольца и с оптимальной засыпью. Тот и другой прием за-

Таблица 23

Сравнение различных режимов засыпи при работе печи № 3 на высокогорских и гороблагодатских рудах при выплавке литейных чугунов

Технические показатели	Оптимальная засыпь	Засыпь с недогрузом внутреннего кольца	Засыпь с перегрузом внутреннего кольца	Засыпь с двумя обособленными кольцами
Величина колоши древесного угля, м³	10,8	10,8	10,8	10,8
Подача в периферийное кольцо высокогорских, гороблагодатских магнитных железняков и частично полумартитов, кг	1750	2250	1800	1850
Во внутреннее кольцо ауэрбаховских и воронцовских руд, кг	850	850	1100	850
Подача руды во внутреннее кольцо, %	32,6	27,4	37,5	31,5
Общий вес рудной сыпи, кг	2600	3100	2900	2700
Расход руды на 1 т чугуна, т	1,63	1,71	1,79	1,74
Расход металлич. добавок на 1 т чугуна, кг	60	125	34	41
Температура дутья, °С	680	607	634	650
Выплавка чугуна в сутки, т	201	182	152	171
Время пребывания шихты, часы	3,7	4,7	4,7	4,0
Коэффициент полезного объема, м³/т	0,97	1,07	1,28	1,14
Сорт чугуна	Л и т е й н ы й			
Содержание кремния в чугуне, %	1,24	1,91	2,16	1,22
Содержание марганца в чугуне, %	0,75	0,87	0,91	0,83
Расход древесного угля на 1 т чугуна, м³	6,43	5,60	6,95	7,00
Вес 1 м³ древесного угля, кг	135	135	135	135
Расход древесного угля на 1 т чугуна, т	0,87	0,76	0,92	0,94
Расход нелетучего углерода на 1 т чугуна, кг	593	517	632	647
Максимальное содержание углекислоты на горизонте, %	14,05	16,2	14,5	14,4
Коэффициент использования восстановительной способности газа, %	90	71	66	78
Среднее содержание углекислоты на верхнем горизонте, %	12,7	11,1	11,6	11,0

сыпи может быть применен при выплавке литейных чугунов с весьма экономичными результатами в отношении расхода горючего.

Интересно отметить, что время пребывания шихты при выплавке литейных чугунов на довольно трудновосстановимых высокогорских и гороблагодатских рудах при режиме оптимальной засыпи снизилось до 3,7 часа, что указывает на большие возможности в отношении форсирования хода доменной печи при обеспечении хорошего распределения материалов.

Коэффициент использования полезного объема при этом получился 0,97 м³/т, что является исключительно хорошим результатом работы древесноугольной доменной печи при проплавке таких трудновосстановимых руд, какими являются гороблагодатские и высокогорские магнитные железняки и полумартиты.

Расход нелетучего углерода в 517—593 кг на тонну чугуна при режиме засыпи с недогрузкой внутреннего кольца и при оптимальной засыпи может считаться также весьма хорошим результатом.

Обычно при выплавке на таких рудах литейных чугунов другие древесноугольные доменные печи Урала имеют расход нелетучего углерода около 800 кг, а при работе на коксе примерно 850 кг.

Таким образом улучшенное распределение материалов, полученное при засыпи двумя регулируемыми концентрическими кольцами, по сравнению с дру-

гими приемами засыпи привело к экономии расхода горючего порядка 200 кг на тонну чугуна.

Из всего вышеизложенного можно сделать заключение, что наиболее экономичная работа доменной печи на переделные чугуны при проплавке как легко-восстановимых, так и трудновосстановимых руд имеет место при режиме оптимальной засыпи, а при выплавке литейного чугуна и при режиме засыпи с небольшой недогрузкой внутреннего кольца.

§ 27. Характеристика оптимального режима работы на примере доменной печи Серовского завода на литейные чугуны

Приведенные выше исследования позволяют регламентировать режим работы доменной печи на литейные чугуны с обеспечением получения наиболее высокой производительности и минимального расхода горючего.

1. Режим при работе с подачей на периферию высокогорских и гороблагодатских магнитных железняков и полумартитов, а во внутреннее кольцо — аузрбаховских и воронцовских руд

1) Величина колоши должна быть $10,8 \text{ м}^3$.

2) Во внутреннее кольцо необходимо подавать от 27 до 32% руды, причем меньшее количество в том случае, когда руды, идущие во внутреннее кольцо, имеют некоторое содержание мелочи, а большее — в случае кусковатой руды.

3) Температура дутья должна быть наиболее высокой, к чему нет препятствий со стороны размера фурменных очагов горна. Сход материалов при высоких температурах дутья был достаточно хорошим, так как размеры фурменных очагов большие.

4) Форсировку хода доменной печи можно доводить до времени пребывания шихты в 3,7 часа и до получения коэффициента использования полезного объема доменной печи в $0,95 \text{ м}^3$ на тонну.

5) Шихтовку следует вести на шлак следующего состава: кремнезема — 36—39%, глинозема — 21—28%, извести — от 30 до 38%.

Шлаки такого состава нетрудно получить при шихтовке из заданных руд.

2. Режим работы с подачей на периферию аузрбаховских и воронцовских руд, а во внутреннее кольцо высокогорских и гороблагодатских полумартитов

Ввиду того, что направление во внутреннее кольцо трудновосстановимых руд приводит к неудовлетворительной их подготовке до прихода в горн, не следует рекомендовать работу с подачей высокогорских или гороблагодатских полумартитов во внутреннее кольцо, так как это приводит к повышенному расходу горючего.

3. Режим работы на высокогорских и гороблагодатских магнитных железняках и полумартитах

1) Величина колоши должна быть не меньше $10,8 \text{ м}^3$.

2) Во внутреннее кольцо необходимо подавать 30—31% рудной сыпи, причем сюда следует направлять преимущественно кусковатый материал и желательно полумартиты.

3) Температура дутья должна быть наиболее высокой, чему нет препятствий со стороны размеров фурменных очагов горна.

4) Форсировку хода доменной печи можно доводить до времени пребывания шихты около 4,1 часа и получение коэффициента использования полезного объема доменной печи в $1,0 \text{ м}^3$ на тонну. Возможность дальнейшей форсировки не исключена, но исследованием не выявлена.

5) Шихтовку следует вести на шлак следующего состава: кремнезема — 37—40%, глинозема — 20—24%, извести — 28—34%.

Шлаки этого состава возможны на упомянутых выше рудах.

4. Режим при работе на ауэрбаховских и воронцовских рудах

1) Величина колоши должна быть 10,8 м³.

2) Во внутреннее кольцо необходимо подавать 30—31% рудной сыпи. Желательно во внутреннее кольцо давать кусковатую руду.

3) Температура дутья должна быть наибольшей, к чему нет препятствий со стороны размера фурменных очагов горна.

4) Форсировку хода доменной печи можно доводить до времени пребывания шихты около 4 часов и получения коэффициента 0,95 м³/т. Возможности дальнейшего форсирования не исключены.

5) Шихтовку следует вести на шлак следующего состава: кремнезема — 34—37%, глинозема — 20—26%, извести — 30—35%.

Установить режим работы при любом другом варьировании рудами вполне возможно, пользуясь при этом данными исследования.

§ 28. Характеристика оптимального режима работы на примере доменной печи Серовского завода на передельные и валковые чугуны

Приведенные выше исследования позволяют регламентировать режим работы доменной печи на передельные и валковые чугуны с обеспечением получения наиболее высокой производительности и минимального расхода горючего.

1. Режим работы на сырых бакальских рудах

1) Величина колоши должна быть 10,8 м³.

2) Во внутреннее кольцо следует подавать 29—30% рудной сыпи, причем желательно направлять сюда кусковатые руды.

3) Температура дутья должна быть наиболее высокой, чему нет препятствий со стороны размера фурменных очагов горна и схода материалов.

4) Форсировку хода доменной печи можно доводить до времени пребывания шихты в 3,8 часа. При проплавке бакальских обожженных руд степень форсировки может быть значительно увеличена. Указанная форсировка также относится к случаю работы на 100% руды без металлических добавок в шихте. Коэффициент полезного объема может быть доведен до 0,9 м³ на тонну чугуна. Не исключена возможность и дальнейшего форсирования хода доменной печи.

5) Шихтовку следует вести на шлак следующего состава: кремнезема — 44—46%, глинозема — 18—24%, извести — 28—31%.

2. Режим работы на гороблагодатских и высокогорских полумартитах и магнитных железняках

1) Величина колоши должна быть 10,8 м³.

2) Во внутреннее кольцо необходимо подавать 30—31% рудной сыпи, причем следует давать преимущественно кусковатые полумартиты или мытые валунчатые руды.

3) Температура дутья должна быть наибольшей, к чему нет препятствия со стороны размера фурменных очагов горна и схода материалов.

4) Форсировку хода доменной печи можно доводить до времени пребывания шихты в 4 часа и получения коэффициента использования полезного объема в 1 м³ на тонну чугуна. При подаче в шихту металлических добавок форсировка хода доменной печи может быть увеличена.

3. Режим работы с подачей на периферию высокогорских и гороблагодатских магнитных железняков и полумартитов, а во внутреннее кольцо — ауэрбаховских или воронцовских руд

1) Величина колоши должна быть 10,8 м³.

2) Во внутреннее кольцо необходимо подавать от 30 до 33% рудной сыпи, причем меньшее количество относится к подаче более мелких руд, а большее — кусковатых.

3) Температура дутья должна быть наиболее высокой, чему нет препятствия со стороны размеров фурменных очагов горна.

4) Форсировку хода доменной печи можно доводить до времени пребывания шихты в 3,7 часа и коэффициента полезного объема в 0,9 м³ на тонну чугуна. При подаче металлических добавок форсировка хода может быть увеличена.

5) Шихтовку следует вести на шлаки следующего состава: кремнезема — 34—38%, глинозема — 16—28%, извести — 28—32%.

Шлаки этого состава вполне возможно получить из указанных руд.

4. Режим работы на ауэрбаховских и воронцовских рудах

1) Величина колоши должна быть 10,8 м³.

2) Во внутреннее кольцо необходимо подавать 31—32% рудной сыпи, причем желательнее кусковатых руд.

3) Температура дутья должна быть наиболее высокой, чему нет препятствия со стороны размера фурменных очагов горна и схода материалов.

4) Форсировку хода доменной печи можно доводить до времени пребывания шихты в 3,9 часа, что соответствует коэффициенту использования полезного объема 0,90—0,95 м³ на тонну чугуна. При подаче металлических добавок форсировка хода может быть увеличена.

5) Шихтовку следует вести на шлак следующего состава: кремнезема — 34—38%, глинозема — 20—25%, извести — 28—32%.

Установить режим работы при любом другом варьировании рудами вполне возможно, пользуясь данными исследования.

ГЛАВА IV

СРАВНЕНИЕ ЗАСЫПНЫХ АППАРАТОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ДОСТИЖЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАСЫПИ И МИНИМАЛЬНОГО РАСХОДА ГОРЮЧЕГО

§ 29. Сравнение аппарата Парри с засыпью двумя кольцами

Проведенные на печи № 3 Серовского завода исследования подтверждают выводы, сделанные ранее, что рудная сыпь в доменной печи, вследствие большого удельного веса по сравнению с горючим, опускается вертикально вниз, не перераспределяясь в горизонтальном направлении. При аппарате Парри рудная сыпь поступает только на периферию, а проекция большого конуса аппарата на колошнике недостаточно заполняется рудой, что приводит при нормальном профиле доменной печи к резко выраженному центральному потоку горячих и не работающих на восстановление газов. Доменная печь № 3 имела нормальный профиль, а поэтому центральный поток газов при работе с аппаратом Парри выявился особенно рельефно даже при небольшом размере колошника — 3,6 м.

В доменных печах с бутылкообразным профилем при работе с засыпным аппаратом Парри в дополнение к центральному потоку не работающих на восстановление газов появляется периферийный поток таких же газов, вызванный большим превышением диаметра горна над размерами колошника.

В условиях древесноугольной доменной печи при умеренном колошнике в 3,6 м и при нормальном профиле, как показали исследование и практика до-

менной печи № 3, имеет место при засыпном аппарате Парри перерасход горючего от 1 до 3 м³ на тонну чугуна по сравнению с засыпью двумя концентрическими кольцами. По весу этот перерасход древесного угля составляет от 130 до 390 кг или нелетучего углерода 90—250 кг на тонну чугуна.

Естественно, что при увеличенных размерах колошника по сравнению с 3,6 м будет иметь место дальнейшее ухудшение экономичности доменной плавки, что приведет к еще большему перерасходу горючего.

Исследования горна, проведенные при работе засыпным аппаратом Парри, выявляют, что при наличии фурменного очага больших размеров засыпной аппарат Парри не спасает от развития прямых восстановлений в горне доменной печи, так как наличие центрального потока горячих и не работающих на восстановление газов ухудшает подготовку рудной сыпи в отношении восстановления на периферии; а это приводит и к приходу в горн недовосстановленной руды. И действительно, исследование выявляет, что при засыпи аппаратом Парри содержание окиси углерода вне фурменных очагов горна может достигать 90—100%, что несомненно указывает на сильное развитие реакции прямых восстановлений, сказывающееся неблагоприятно на работе горна доменной печи.

На основании всего вышеизложенного и результатов изучения контакта газов со столбом шихты в различных условиях (глава III) можно сделать вывод, что засыпной аппарат Парри является совершенно непригодным для древесноугольной доменной печи, как вызывающий большой перерасход очень дорогого горючего, каким является древесный уголь.

Что же касается коксовых доменных печей, то и здесь засыпной аппарат Парри будет менее выгодным по сравнению с аппаратом с двойной засыпью.

Современные мощные доменные печи, работающие на коксе форсированным ходом, с минимальными потерями на лучеиспускание и охлаждение, имеют при засыпном аппарате Парри расход нелетучего углерода при работе на передельные чугуны на агломерате, и кусковых руд, по данным Магнитогорского завода 680 кг, а при работе на литейные чугуны 850 кг на тонну чугуна.

При аппарате с засыпью двумя концентрическими кольцами на неподготовленных рудах в виде магнитных железняков и полумартитов со значительным количеством мелочи, по результатам работы доменной печи № 3 Серовского завода, получается расход нелетучего углерода в среднегодовом разрезе при выплавке передельных чугунов до 612 кг, а литейных чугунов 640 кг на тонну чугуна.

На небольшой доменной печи, работающей в менее благоприятных условиях по сравнению с магнитогорскими доменными печами (пониженная производительность, более высокие потери на охлаждение и лучеиспускание, более бедные и не подготовленные к доменной плавке руды, в условиях меньшего времени пребывания шихты в печи от 3,7—4,6 часа вместо 7—8 час.) был получен меньший расход горючего.

Можно ли рассчитывать, что результаты в отношении расхода горючего древесноугольной доменной печи — нормального профиля и с двухкольцевой засыпью — будут получены и на коксовой доменной печи после придания ей нормального профиля и установления оптимального распределения материалов двухкольцевой засыпью?

Есть серьезные основания для положительного ответа на этот вопрос.

1. Коксовая доменная печь в полтора раза выше древесноугольной, поэтому работа газов при одинаковом хорошем распределении рудной сыпи будет много лучше, так как время контакта газов со столбом шихты удлинится во времени при одинаковой степени форсирования хода печи.

2. Объем зоны не прямых восстановлений в коксовой печи при хорошем распределении рудной сыпи будет также больше, вследствие того что температура начала газификации древесного угля 850°, кокса же 950—1000°, а это должно снижать расход горючего в коксовой печи по сравнению с древесноугольной.

3. Кокс занимает примерно в три раза меньший объем по сравнению с древесным углем, а поэтому в коксовой доменной печи в единицу времени обрабатывается газами большее количество руды в единице объема, что благоприятно для снижения расхода горючего и повышения производительности коксовой печи. Следовательно, в принципе использование полезного объема коксовой доменной печи должно быть лучше древесноугольной. Точно также использование физического тепла должно быть лучше в коксовой печи.

4. Время пребывания шихты в коксовой доменной печи по крайней мере в два раза больше, а это значительно улучшает прохождение восстановительных процессов, так как последние идут во времени. Поэтому в коксовой доменной печи использование восстановительной способности газа должно быть выше, что снижает расход горючего по сравнению с одинаковыми условиями древесноугольной.

5. Фурменные очаги коксовой доменной печи по линейным размерам в 1,5—2 раза больше древесноугольной, а это обстоятельство обуславливает лучший сход материалов на коксовой печи и делает для нее более отдаленным лимитирование по производительности.

6. Температура фурменных очагов и холостой работы горна коксовой доменной печи на 100—200° выше древесноугольной, а поэтому вследствие большей концентрации тепла работоспособность и коэффициент полезного действия горна коксовой печи выше, чем древесноугольной, что благоприятно отзывается на снижении расхода горючего и повышении производительности.

7. Многие коксовые доменные печи в настоящее время работают на шлаках с суммой глинозема и кремнезема до 55—58% и на малозольном коксе. На древесноугольных печах эта сумма обычно равна 60—65%. Разница в составе шлаков, как видно, небольшая, и при внедрении обессеривания периферийных чугунов коксовые доменные печи могут работать на шлаках древесноугольных печей, а при этом расходовать только немного больше известняка для офлюсования избыточного количества золы кокса по сравнению с древесным углем.

8. Как на коксовых доменных печах, так и на древесноугольных расход горючего (нелетучего углерода) при засыпном аппарате Парри и прочих равных условиях примерно одинаков: 650—750 кг нелетучего углерода при периферийных чугунах, 800—900 кг при литейных.

Поэтому, если на древесноугольной доменной печи при переходе с однокольцевой засыпной аппаратом Парри к двухкольцевой получается снижение расхода горючего на 20—30%, то, естественно, на коксовых доменных печах при переходе с однокольцевой засыпки на двухкольцевую есть основания ждать, примерно такой же экономии горючего, сопровождаемой и соответственным ростом производительности печи.

Указанное позволяет поставить вопрос о полной целесообразности испытания применения засыпных аппаратов с двумя регулирующими по желанию концентрическими кольцами для коксовой доменной печи.

§ 30. Сравнение аппарата системы автора с засыпным аппаратом ю.-уральского типа

Аппарат системы автора с засыпкой двумя концентрическими кольцами с регулированием количества руды, поступающего в периферийное и внутреннее кольца, применен на доменной печи Серовского завода, а засыпной аппарат ю.-уральского типа — на доменной печи Саткинского завода и доменной печи Ашинского завода. Сравнивая работы этих печей, можно получить наглядное представление о преимуществах конструкций аппаратов, применяемых на них.

В табл. 24 представлены сравнительные данные о работе доменных печей Серовского, Ашинского и Саткинского заводов.

На всех печах выплавлялся передельный чугун. На печи Серовского завода руды во внутреннее кольцо подано 29,3%, а общий вес рудной сыпи составил 3100 кг.

Таблица 24

Технические показатели	Дом. печь Серовского завода (оптимальная засыпь)	Ашинская доменная печь по исследованию			Дом. печь Саткинского завода
		УИМ	УИМ	проф. И. А. Соколов	
Величина колоши древесного угля, м³ . . .	10,8	13,28	11,62	Нет свед.	Нет свед.
Подача руды в периферийное кольцо: сырой бакальской, % . . .	100	—	—	60	80
обоженной бакальской %	—	—	—	40	20
Вес в колошу, кг	2200	—	—	Нет свед.	Нет свед.
Подача руды во внутреннее кольцо: сырой бакальской % . . .	100	—	—	60	80
обоженной бакальской %	—	—	—	40	20
Вес в колошу, кг	900	—	—	Нет свед.	Нет свед.
Расход руды на 1 т чугуна, кг	1,620	1,785	1,858	1,700	Нет свед.
Расход металлических добавок на 1 т чугуна, кг	нет	219	10	156	Нет свед.
Температура дутья, °С . .	600	500	500	500	650
Время пребывания шихты, часы	4,7	4,6	4,6	4,8	4,3
Коэффициент полезного объема, м³/т	1,19	1,81	1,80	1,08	0,97
Содержание кремния в чугуне, %	0,31	Нет свед.	Нет свед.	0,77	0,7
Содержание марганца в чугуне, %	1,0	Нет свед.	Нет свед.	1,80	1,1
Расход древесного угля, на тонну чугуна, т³ . .	5,65	5,2	5,51	6,23	5,5
Вес 1 м³ древесного угля, кг	135	155	155		155
Расход древесного угля на 1 т чугуна, т . .	0,77	0,803	0,83	0,986	0,88
Расход нелетучего углерода на 1 т чугуна, кг	522	640	664	706	646
Максимальное содержание углекислоты на горизонте, %	12,0	11,0	10,8	13,5	Нет свед.
Коэффициент использования восстановительной способности газа, %	92	97	95	64,5	Нет свед.
Среднее содержание углекислоты на горизонте, %	11,04	10,7	10,15	8,7	Нет свед.

Из табл. 24 видно, что на доменной печи Серовского завода были получены лучшие результаты, чем на остальных доменных печах, причем в это время доменные печи Ашинского и Саткинского заводов работали на шихте из бакальских руд, в значительном проценте обожженных, в то время как доменная печь Серовского завода работала на сырых бакальских рудах.

Кроме того, на доменную печь Ашинского завода, поступали в шихту металлические добавки, в то время как на доменную печь Серовского завода их не поступало вовсе.

Несмотря на менее благоприятные условия работы доменной печи Серовского завода, расход горючего на ней был получен более низкий (522 кг вместо 640—706 кг), имевших место на доменных печах Ашинского и Саткинского заводов. Таким образом экономия расхода горючего достигала 118—184 кг нелетучего углерода на тонну чугуна.

Точное сравнение в среднегодовом разрезе сделать трудно, потому что доменная печь Серовского завода выплавляла передельные чугуны из бакальских, ауэрбаховских, воронцовских, гороблагодатских и высокогорских руд, тогда как доменные печи Ашинского и Саткинского заводов работали на бакальской руде, в значительном проценте обожженной.

Ниже в табл. 25 приводится сравнение среднегодовых результатов работы доменной печи Серовского завода и доменной печи Ашинского завода.

Таблица 25

Сравнение среднегодовых результатов работы доменных печей Серовского и Ашинского заводов

Технические показатели	Доменная печь Серовского завода, 1939 г.	Доменная печь Ашинского завода	Доменная печь Серовского завода, 1938 г.
Расход руды на 1 т чугуна, т . . .	1,92	1,8	1,61
Расход металлических добавок на 1 т чугуна, кг	60	161	123
Расход древесного угля на 1 т чугуна, м ³	6,72	5,75	6,32
Вес 1 м ³ древесного угля, кг	135	158	135
Расход древесного угля на 1 т чугуна, т	0,90	0,908	0,84
Расход нелетучего углерода на 1 т чугуна, кг	637	720	612

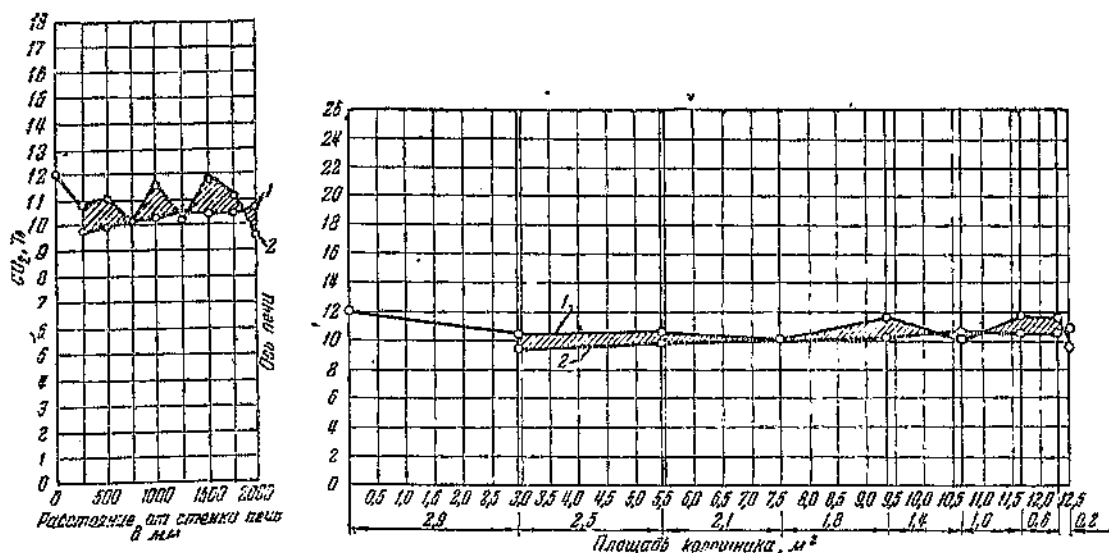
Из среднегодовых результатов видно, что экономия расхода горючего на доменной печи Серовского завода выражается в 108 кг нелетучего углерода на тонну чугуна. Эта экономия получилась при меньшем расходе металлических добавок и при более трудно восстанавливаемой руде.

На фиг. 229 приведено сравнение в отношении содержания углекислоты результатов исследования доменной печи Серовского завода с наилучшими результатами, полученными Уральским институтом металлов на доменной печи Ашинского завода при колоше размером 11,62 м³. Из диаграммы видно, что доменная печь Серовского завода работала более экономично, имея среднее содержание углекислоты на горизонте в момент исследования 11,04 вместо 10,15%, имевших место на доменной печи Ашинского завода.

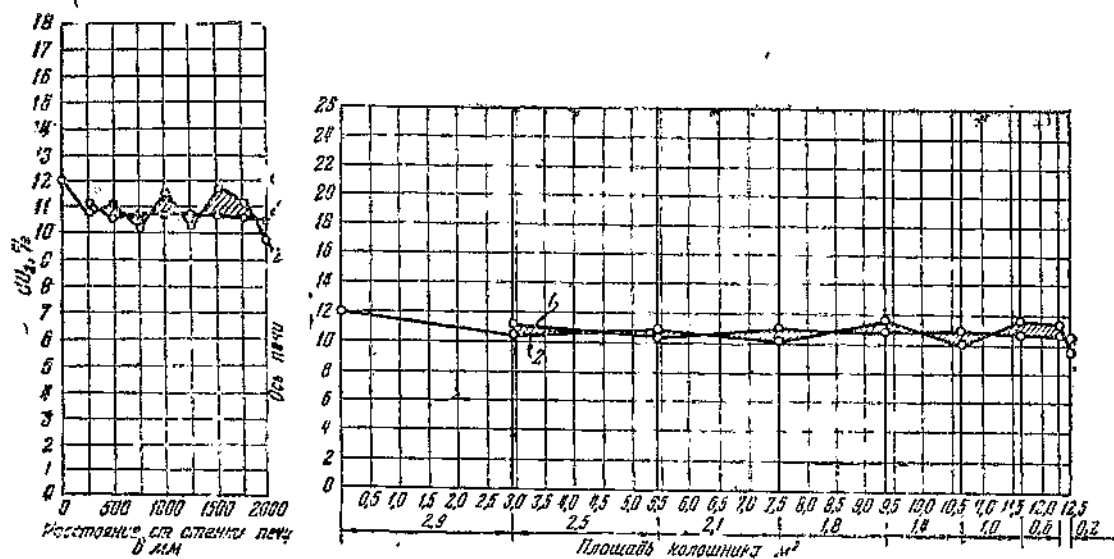
Коэффициент использования восстановительной способности газа был равен 92—95%. Более высокое среднее содержание углекислоты при плавке на сырых бакальских рудах на доменной печи Серовского завода является очень показательным; оно было бы еще выше, если бы печь работала с подачей того же количества обожженных руд, как печь Ашинского завода.

На фиг. 230 приведено сравнение состава газа по сечению колошника в отношении содержания углекислоты на доменной печи Серовского

завода и Ашинского завода при колоше объемом 13,28 м³. Сравнение содержания углекислоты в среднем по горизонту в момент исследования на доменной печи Серовского завода при работе на сырых бакальских рудах указывает на более высокое ее значение — 11,04 вместо 10,7%, имевших место на



Фиг. 229. Сравнение кривой анализа газа в отношении CO_2 на верхнем горизонте из отверстия № 3 2 июля 1939 г. доменной печи Серовского завода при оптимальной засыпи с кривой анализа газа на верхнем горизонте Ашинской доменной печи при колоше 11,62 м³: слева — в линейных координатах; справа — в площадных координатах.



Фиг. 230. Сравнительные кривые анализа газа в отношении CO_2 на верхнем горизонте из отверстия № 3 2 июля, 1939 г. доменной печи Серовского завода при оптимальной засыпи с анализом газа на верхнем горизонте Ашинской доменной печи при колоше объемом 13,28 м³: слева — в линейных координатах; справа — в площадных координатах.

доменной печи Ашинского завода при работе на шихте с рудами на 40% обожженными.

В результате приведенных исследований и сравнительных данных работы доменной печи Серовского завода и доменных печей Ашинского и Саткинского заводов можно сделать заключение, что засыпной аппарат с регулированием засыпи между периферийным и внутренним кольцами, обеспечивает большую экономичность доменной плавки, чем аппарат ю.-уральского типа, и ему подобные не имеющие регулирования засыпи между периферией и центральной частью печи.

§ 31. Сравнение результатов работы доменной печи Серовского завода с работой шведских доменных печей

Условия работы доменной печи Серовского завода по сравнению со шведскими доменными печами были благоприятные в отношении распределения материалов и форсирования работы печи, что обеспечивало при хорошем использовании восстановительной способности и физического тепла газов, минимальные потери на лучеиспускание и охлаждение доменной печи.

С другой стороны, шведские доменные печи работали на лучше подготовленной рудной шихте со значительным количеством входящих в нее агломерата и обожженных магнитных железняков, а также древесном угле лучшим по качеству, преимущественно кучного выжига, тогда как на доменную печь Серовского завода шли неподготовленные руды, плохо дробленные и со значительным количеством мелочи, а уголь поступал выжженный в печах Шварца.

Тихий ход шведских доменных печей с одной стороны сильно способствует улучшению использования восстановительной способности и тепла газов, вследствие того, что процессы восстановления и нагревания материалов идут во времени, а с другой стороны увеличивает потери тепла на лучеиспускание и охлаждение.

Низкий нагрев дутья шведских печей также является неблагоприятным фактором по сравнению с уральскими печами.

Доменные печи шведских заводов оборудованы большей частью засыпными

Таблица 26

Сравнение результатов работы доменной печи Серовского завода с доменной печью завода Герренг (Швеция)

Технические показатели	Доменная печь Серовского завода (оптимальная засыпь)	Доменная печь завода Герренг
Подача руды во внутреннее кольцо, %	32,1	27,5
Расход руды на 1 т чугуна, т	2,12	1,64
Расход металлических добавок на 1 т чугуна, кг	67	нет
Температура дутья, °С	675	325
		45
Время пребывания шихты, часы	3,9	7,0
Коэффициент использования полезного объема, м³/т	0,96	1,6
Сорт чугуна	Перед.	Ковкий
Содержание кремния в чугуне, %	0,49	0,5
Содержание марганца в чугуне, %	0,77	0,4
Расход древесного угля на 1 т чугуна, м³	5,98	4,87
Вес 1 м³ древесного угля, кг	135	160 ¹⁾
Расход древесного угля на 1 т чугуна, т	0,81	0,778
Расход нелетучего углерода на 1 т чугуна, кг	552	640

¹⁾ Уголь кучного выжига

аппаратами Толандера, Шарлевилля или Квеннерштедта и работают в условиях засыпи с регулированием ее между центром и периферией, т. е. аналогично доменной печи Серовского завода. Ниже в табл. 26 приводится сравнение

результатов работы доменной печи Серовского завода при оптимальной засыпи, с работой доменной печи завода Герренг [30].

Доменная печь Серовского завода работала при этом на гороблагодатских и высокогорских магнитных железняках и полумартитах, а доменная печь завода Герренг — на магнитных железняках. Обе печи работали примерно на чугуны одинакового состава.

Расход нелетучего углерода на 1 т чугуна по весу получился на доменной печи № 3 Серовского завода 552 кг, а на доменной печи завода Герренг 640 кг, т. е. экономия горючего в пользу доменной печи Серовского завода составила 88 кг нелетучего углерода на тонну чугуна. Часть этой экономии может быть объяснена более высоким нагревом дутья, который имел место на доменной печи Серовского завода — 675° против 325° на шведской печи. Однако часть этой экономии следует также отнести и за счет лучшего распределения материалов на печи Серовского завода, несмотря на значительно больший поперечный размер ее колошника.

В табл. 27 приведено сравнение работы доменной печи Серовского завода в условиях оптимальной засыпи на бакальских сырых рудах с работой доменной печи завода Фагерста на окисных агломератах магнитных железняков, шедших в шихту в количестве 81,5%, и шлихов магнитных железняков, поступавших в количестве 18,5% (30).

Таблица 27

Сравнение результатов работы доменной печи Серовского завода с доменной печью завода Фагерста (Швеция)

Технические показатели	Доменная печь Серовского завода (оптимальная засыпь)	Доменная печь завода Фагерста (Швеция)
Подача руды во внутреннее кольцо, %	29,3	40
Расход руды на 1 т чугуна, т	1,62	1,69
Температура дутья, °С	690	450
Время пребывания шихты, часы	4,7	6,9
Коэффициент использования полезного объема, м³/т	1,19	1,7
Сорт чугуна	п е р е д е л ь н ы й	
Содержание кремния в чугуне, %	0,3	0,8
Содержание марганца в чугуне, %	1,0	1,0
Расход древесного угля на 1 т чугуна, м³	5,65	4,0
Вес 1 м³ древесного угля, кг	135**	160*
Расход древесного угля на 1 т чугуна, т	0,77	0,640
Расход нелетучего углерода на 1 т чугуна, кг	522	528

* Уголь кучного выжига с 82,5% нелетучего углерода.

** Уголь печного выжига из смеси сосновых и еловых дров с 67—71% нелетучего углерода, определенным прокаливанием в течение 3½ минут на бунзеновской горелке.

На шведскую доменную печь в центральную часть поступало 40% рудной сыпи, а на доменную печь Серовского завода 29,3% — во внутреннее кольцо. Расход руды в том и другом случае был примерно одинаковым. Чугуны, выплавлявшиеся на обеих печах, значительно не отличались по своему составу, расход же горючего на доменной печи Серовского завода, несмотря на работу на недостаточно подготовленных к плавке сырых бакальских рудах, был одинаков с заводом Фагерста, составляя 522 кг нелетучего углерода. Приведенные результаты подчеркивают важность хорошего распределения материалов в доменной печи, которая даже при работе на неподготовленных рудах, как это видно из примера доменной печи Серовского завода, обеспечивает хорошие результаты доменной плавки в отношении расхода горючего.

Сравнение результатов работы доменной печи Серовского завода с доменной печью завода Форсбак (Швеция)

Технические показатели	Доменная печь № 3 Серовского завода (в среднем за май)	Доменная печь завода Форсбак (лучшие две недели)
Подача руды во внутреннее кольцо, %	30,0	35,0
Расход руды на 1 т чугуна, кг	1,68	1,72
Температура дутья, °С	654	375
Выплавка чугуна в сутки, т	170	24
Время пребывания шихты, часы	4,7	11,5
Коэффициент полезного объема, м³/т	1,15	2,9
Сорт чугуна	Литейный	Бессемеровский
Содержание кремния в чугуне, %	1,74	1,1
Содержание марганца в чугуне, %	0,76	3,3
Расход древесного угля на 1 т чугуна, м³	6,25	5,63
Вес 1 м³ древесного угля, кг	135	160
Расход древесного угля на 1 т чугуна, кг	0,84	0,900
Расход нелетучего углерода на 1 т чугуна, кг	538	744

Табл. 28 дает сравнение работы доменной печи Серовского завода в среднем за май 1939 г. с работой завода Форсбак за две недели [30].

Доменная печь Серовского завода работала на литейный чугун с содержанием кремния 1,74% и марганца 0,76%, тогда как доменная печь завода Форсбак работала на бессемеровские чугуны с содержанием кремния 1,1% и марганца 3,3%. Чугуны в отношении расхода горючего могут быть признаны примерно равными.

Температура дутья была более высокой на доменной печи Серовского завода, достигая 654 вместо 375°, имевшими место на заводе Форсбак.

Доменная печь Серовского завода работала на высокогорских и гороблагодатских сырых магнитных железняках и полумартитах, а доменная печь завода Форсбак — на обожженных магнитных железняках.

Как видно из сравнения результатов, доменная печь завода Форсбак в отношении подготовки рудной шихты работала в более благоприятных условиях, но лучшее распределение материалов и более форсированный ход доменной печи Серовского завода обеспечили значительное снижение расхода горючего: если на доменной печи завода Форсбак расход горючего составлял 744 кг нелетучего углерода на тонну чугуна, то на доменной печи Серовского завода он снижался до 538 кг в среднем за месяц. Снижение расхода горючего на доменной печи Серовского завода по сравнению с работой одной из шведских доменных печей достигает 206 кг нелетучего углерода на тонну, что следует считать хорошим результатом.

В табл. 29 дается сравнение работы доменной печи завода Форсбак (30) с работой доменной печи Серовского завода в условиях оптимальной засыпи.

В то время как доменная печь Серовского завода работала с подачей на периферию высокогорских, гороблагодатских и воронцовских руд, доменная печь завода Форсбак работала на обожженных магнитных железняках — 96,1% и мелочи магнитных железняков — 3,9%.

Экономия нелетучего углерода при работе доменной печи Серовского завода составляла $744 - 593 = 151$ кг нелетучего углерода на тонну чугуна. Такую экономию расхода горючего следует объяснить не только более высокой температурой нагрева дутья и более форсированным ходом, но в значительной степени и лучшим распределением материалов.

В результате можно сделать заключение, что форсированная работа доменной печи № 3 Серовского завода является экономически выгодней, чем работа тихходных шведских доменных печей.

Сравнение результатов работы доменной печи Серовского завода
в условиях оптимальной засыпки с доменной
печью завода Форсбак (Швеция)

Технические показатели	Доменная печь Се- ровского завода (оптималь- ная) засып	Завод Форсбак (Швеция)
Подача руды во внутреннее кольцо, %	32,6	35,0
Расход руды на 1 т чугуна, т	1,63	1,72
Температура дутья, °С	680	375
Время пребывания шихты, часы	3,7	11,5
Коэффициент полезного объема, м³/т	0,97	2,9
Сорт чугуна	Литейный	Бессемеров.
Содержание кремния в чугуне, %	1,24	1,1
Содержание марганца в чугуне, %	0,75	3,3
Расход древесного угля, на 1 т чугуна, м³	6,43	5,63
Вес 1 м³ древесного угля, кг	135	160
Расход древесного угля на 1 т чугуна, кг	0,837	0,900
Расход нелетучего углерода на 1 т чугуна, кг	593	744

Таким образом форсированная работа доменной печи при хорошем распределении материалов и высоком нагреве дутья может оказаться экономически более выгодной даже при худших рудах по сравнению с медленно идущими печами с низким нагревом дутья. Это объясняется в основном тем, что форсирование работы доменной печи снижает потери тепла на лучеиспускание и охлаждение значительно больше, чем повышает расход тепла в связи с ростом теплосодержания колошниковых газов в результате понижения содержания углекислоты по сравнению с медленно идущими шведскими печами. Кроме того, имело влияние улучшение работы горна, прохождения восстановительных процессов в результате более высокой температуры дутья доменной печи Серовского завода.

Приведенными примерами не подтверждается довольно распространенное мнение, что тихоходные шведские печи работают экономичнее уральских печей с форсированным ходом.

ГЛАВА V

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ ЗАСЫПНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ДРЕВЕСНОУГОЛЬНЫХ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

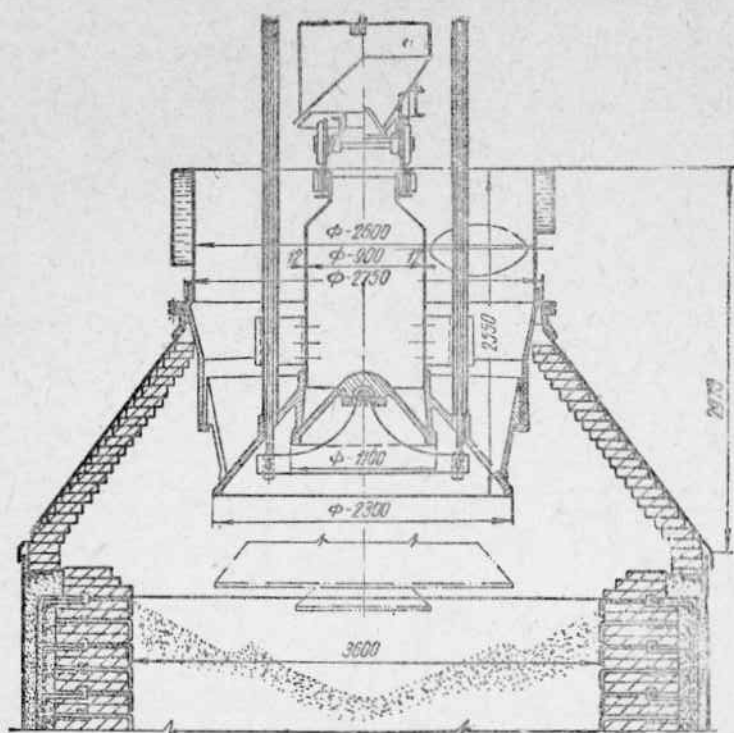
§ 32. Усовершенствование засыпного аппарата доменной печи Серовского завода

Практика работы засыпного аппарата системы автора на доменной печи Серовского завода выявила возможность внесения ряда конструктивных улучшений.

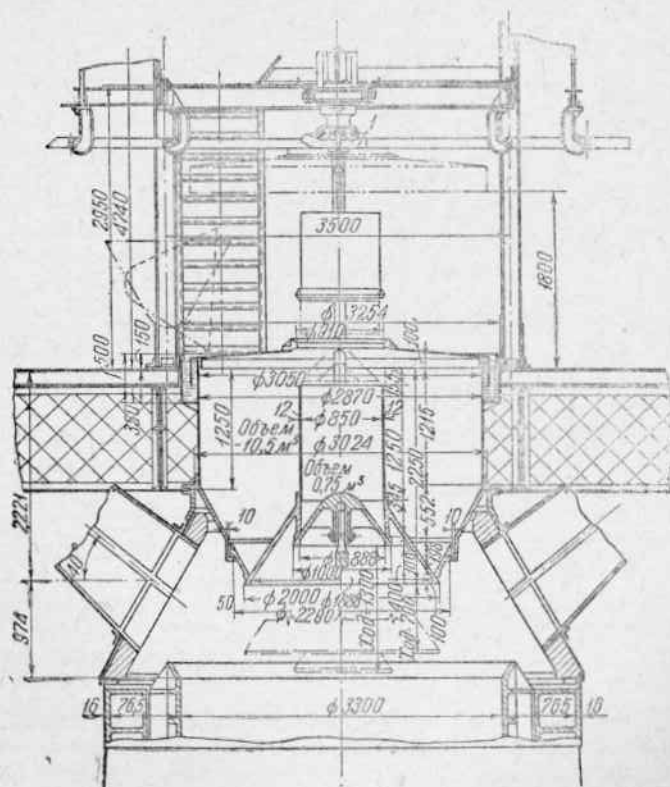
Расположение ограничителей хода внизу над воронкой несколько стесняет пространство для сыпания древесного угля, а поэтому можно ограничители хода перенести в верхнюю часть аппарата к балансиру, как это показано на фиг. 231 и 232.

Ограничители хода представляют собой трубы 7, снабженные сверху хомутами 2, которые охватывают собой ограничительные балки 3. К балкам для смягчения удара прикреплены деревянные бруски.

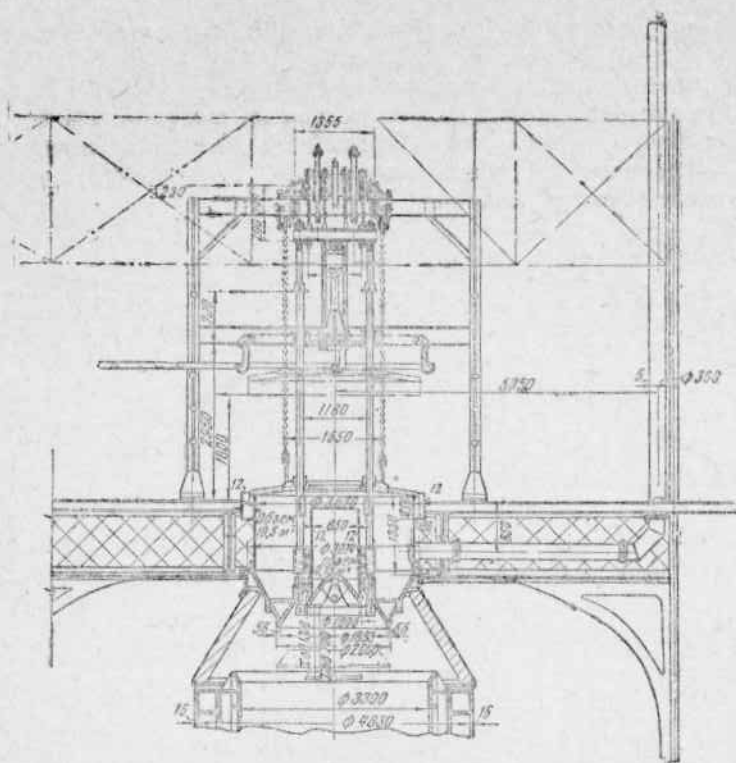
Для облегчения сыпания руды из центральной воронки последнюю необходимо сделать расширяющейся книзу, что особенно важно при работе на мелких рудах.



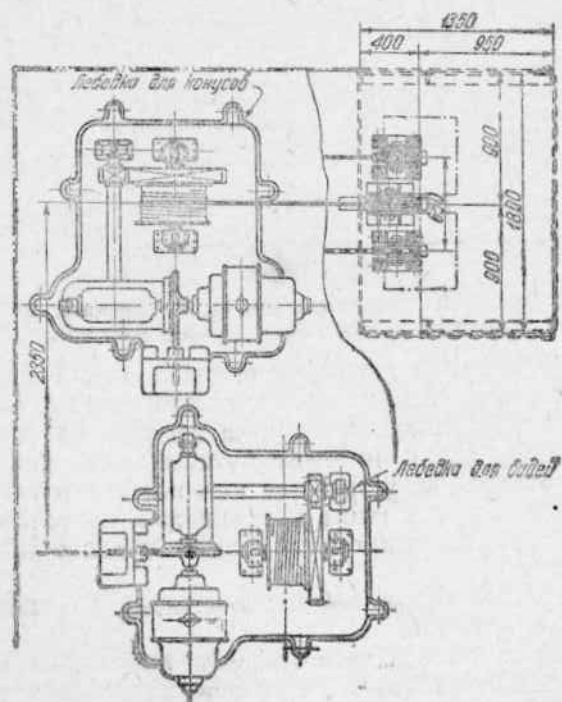
Фиг. 232. Засыпной аппарат системы В. А. Сорокина с ограничителями, расположенными в верхней части колосниковой системы.



Фиг. 233. Засыпной аппарат системы В. А. Сорокина для доменной печи Пашинского завода (разрез).



Фиг. 235. Общее устройство засыпного аппарата системы В. А. Сорокина для доменной печи Пашийского завода.



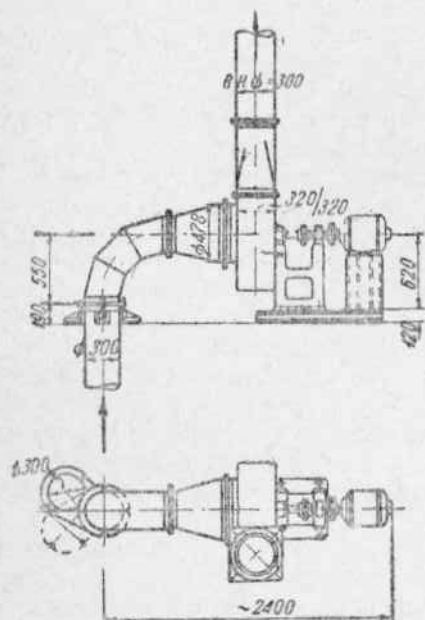
Фиг. 236. Общее расположение лебедок на доменной печи Пашийского завода.

В отношении распределения материалов здесь остаются в силе соображения, изложенные выше по отношению к засыпному аппарату, установленному на доменной печи Серовского завода.

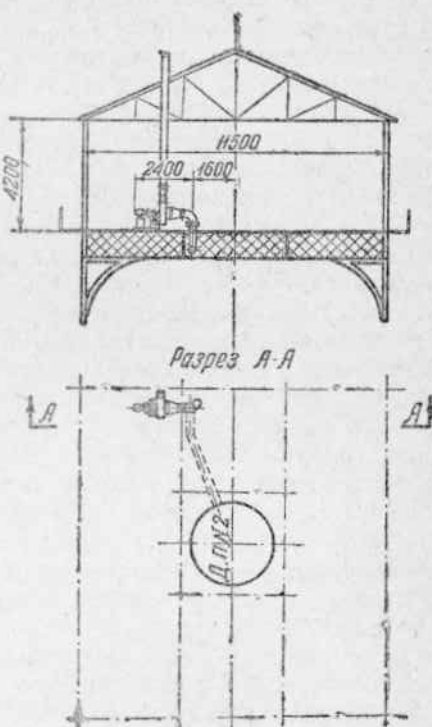
Возможность регулирования в весовом отношении, а если потребуется по размеру кусков, засыпи руды на периферию и в центральную часть аппарата дает все условия получения минимального расхода горючего.

При загрузке древесного угля в засыпной аппарат обеспечивается минимальное его измусоривание.

При наличии крышки с водяным затвором в полной мере обеспечивается герметичность аппарата.



Фиг. 237. Установка эксгаустера для отсоса из-под крышки аппарата.



Фиг. 238. Общее устройство отсоса из-под крышки аппарата.

Для отсоса газа из-под крышки сделана особая свеча, что гарантирует от загрязнения газом атмосферы колошника.

В случае необходимости отсос газа из-под крышки аппарата может быть усилен применением эксгаустера (разрежение около 50 мм вод. ст.).

Установка такого эксгаустера, показанная на фиг. 237 и 238, является весьма желательной при подводе пара под крышку с целью предохранения от хлопков.

Как видно из фиг. 237, установка эксгаустера является весьма несложной. Применение эксгаустера обеспечит на колошнике нормальную для здоровья рабочих атмосферу.

Нельзя не отметить, что для своей установки засыпной аппарат требует минимальной высоты, что позволит применять его на существующих древесноугольных печах без каких-либо значительных переустройств.

В отношении прочности и надежности в работе аппарат не внушает сомнения, так как здесь полностью отсутствуют какие-либо детали, требующие надзора или частого ремонта. Есть основания считать, что аппарат будет работать успешно на продолжении полной кампании доменной печи, не требуя ремонта.

§ 34. Засыпные аппараты системы автора для механизированной загрузки при помощи скиповых подъемников [34]

Наиболее правильным решением вопроса загрузки древесноугольных доменных печей следует признать полную механизацию подачи сырых материалов на печи с устранением задалживания рабочих на колошнике печи.

Применение скиповых подъемников для загрузки древесноугольных доменных печей связано с увеличением измусоривания древесного угля на 3—5% по сравнению с полумеханизированной засыпью. Как показала практика Белорецкого завода, где скиповые подъемники установлены на древесноугольных доменных печах, это повышенное измусоривание не является препятствием к применению скиповых подъемников, так как может быть вполне компенсировано уменьшением расхода горючего, которое получается при применении рациональных конструкций засыпных аппаратов.

На фиг. 239 приведен двухконусный засыпной аппарат системы автора с верхним затвором в виде обычного дистрибутора системы Мак-Ки.

Нижний затвор аппарата состоит из центрального конуса 1, подвешенного на штанге 2, и из конического кольца 3, опирающегося на центральный конус.

Коническое кольцо снабжается двумя ограничительными штангами 4, которые проходят через ограничитель 5 на кожухе засыпного аппарата.

Для устранения засорения зазора между штангами и ограничителями на последний надевается предохранительная трубка 6 или делается паровой затвор 6а.

Материалы, поступающие на нижний затвор аппарата, располагаются на периферическом коническом кольце и центральном конусе. При движении вниз центрального конуса вначале он опускается вместе с коническим кольцом и в печь поступает рудная сыпь и древесный уголь, расположенный на кольце, а на центральном конусе остается лишь материал, ограниченный линией, соответствующей углу естественного откоса.

После того как штанги своими головками достигнут ограничителей, движение конического кольца прекращается, а центральный конус, опускаясь дальше, образует щель между ним и коническим кольцом и происходит ссыпание материалов в печь.

В зависимости от величины колоши в центральную часть печи можно дать от 30 до 35% всей рудной сыпи.

Закрывание нижнего затвора производится подниманием центрального конуса, который на своем пути подхватывает коническое кольцо и прижимает его к чаше.

Для воспрепятствования подачи сыпи в центральную часть печи, что может быть вызвано практическими условиями работы, нижний затвор можно открывать на половину хода.

Такой способ работы может быть рекомендован при похолодании печи, когда рудная сыпь, направляемая в центральную часть печи, может принести значительный вред и от нее следует на время исправления хода печи отказаться.

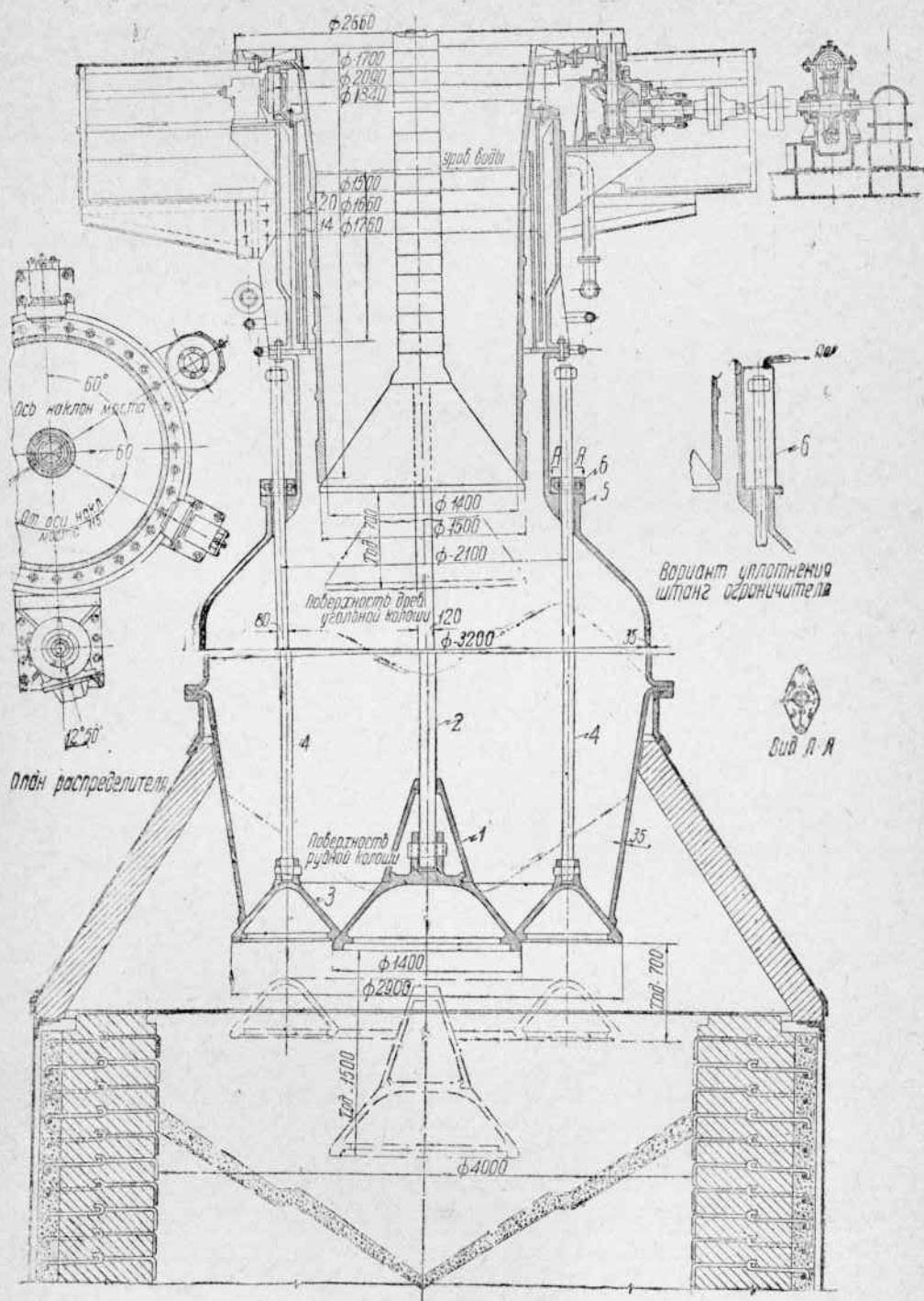
Другой прием создания периферийного потока горячих газов опусканием шихты с одного центрального конуса (при устройстве временных подкладок под головки штанг ограничителей хода периферийного конуса) может быть успешно применен для удаления настывшей на стенках печи.

В отношении требований техники безопасности, в случае надобности наличие двойного затвора полностью обеспечивает работу при обслуживании колошника.

Постоянного пребывания рабочих на колошнике не требуется, так как работа аппарата вполне автоматизирована.

Регулирование распределения материалов можно в известных пределах производить по желанию.

Двухверный характер распределения материалов дает возможность расположить руду по сечению колошника в полном соответствии с потоком газов, что создает условия для получения минимального расхода горючего.



Фиг. 239. Двухконусный засыпной аппарат системы В. А. Сорокина с дистрибутором Мак-Ки.

В отношении других требований, предъявляемых к рациональной конструкции, — герметичность, прочность, удобство производства ремонтов, аппарат вполне равноценен обычной двойной воронке Парри с дистрибутором Мак-Ки.

На фиг. 240 показан засыпной аппарат системы автора с возможным регулированием в весовом отношении количества засыпи, направляемой на периферию и в центральную часть печи.

Верхний затвор аппарата представляет собой обычный распределитель системы Мак-Ки с вращением на угол в 60° после каждой колоши.

Особенность верхнего затвора состоит лишь только в том, что малый конус делает два хода: один одинарный и второй — двойной.

Нижний затвор аппарата состоит из центрального конуса 1, подвешенного жестко или шарнирно к штанге 2, проходящей через полую штангу малого конуса. На центральном конусе располагается периферический конус 3 с воронкой 4, составляющей с ним одну цельную отливку. Периферический конус закрывает собой чашу 5 засыпного аппарата.

Воронка периферического конуса имеет приливы, к которым прикрепляются штанги 6 ограничителей хода периферического конуса. Опоры ограничителей хода 7 располагаются на кожухе засыпного аппарата и для герметичности закрываются сверху цилиндрическими крышками 8.

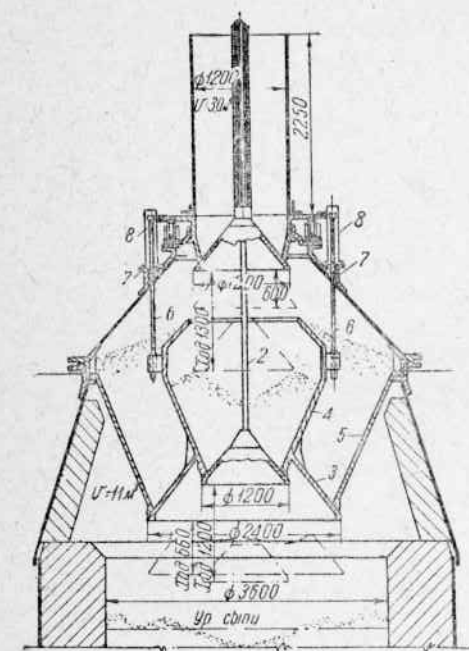
При направлении на периферию древесного угля открытие малого конуса происходит на одинарный ход.

Рудная сыпь, идущая на периферию, загружается так же, как и древесный уголь.

Что же касается рудной сыни, поступающей в центральную часть печи, то она загружается в аппарат при предварительно открытом на двойной ход малом конусе.

Как только в нижний затвор аппарата поступило необходимое количество материалов, последние загружаются в печь.

При опускании балансиром штанги центрального конуса вначале опускаются центральный и периферический конусы одновременно и в печь сыпается материал



Фиг. 240. Засыпной аппарат системы В. А. Сорокина для механизированной загрузки скиповым подъемником.

на периферию через отверстие, образуемое между периферическим конусом 3 и чашей 5 засыпного аппарата.

Когда головки штанг ограничителей хода достигнут опор 7, движение периферического конуса прекращается и дальше опускается один центральный конус 1 и в зазор между ним и воронкой 4 сыпается материал, направляемый в центральную часть печи. При поднимании штанги центрального конуса последний подхватывает на своем пути периферический конус и прижимает его к чаше засыпного аппарата.

Требованию техники безопасности конструкция засыпного аппарата отвечает полностью, так как рабочие устранены с колошника. Подвод пара в междуконусное пространство устраняет возможность получения хлопков.

Регулирование распределения материалов происходит по желанию, поэтому всегда имеется возможность достигнуть оптимального распределения, соответствующего минимальному расходу горючего.

В отношении герметичности, прочности, возможности осуществления автоматической загрузки, ремонтов аппарат равноценен двойной воронке Парри.

Воронка периферического конуса засыпного аппарата может быть изготовлена клепаной, что облегчает периферический конус.

За счет небольшого усложнения аппарата можно достигнуть устранения двойного хода малого конуса применением подвижной распределительной воронки 1, изображенной на фиг. 241.

Как видно из чертежа при поднятой вверх распределительной воронке сыпь поступает на периферический конус, а когда распределительная воронка опущена вниз, сыпь поступает на центральный конус аппарата.

Распределение засыпи между периферией и центральной частью при помощи распределительной подвижной воронки имеет следующие преимущества:

1) рудная сыпь в центральную часть аппарата поступает с вращением, тогда как в случае аппарата фиг. 240 она поступает без вращения;

2) упрощается электрическая блокировка при одинарном ходе малого конуса.

Оба упомянутые обстоятельства могут иметь некоторое значение, однако надобность вращения сыпи, поступающей в центральную часть печи, может быть признана лишь желательной, но не необходимой.

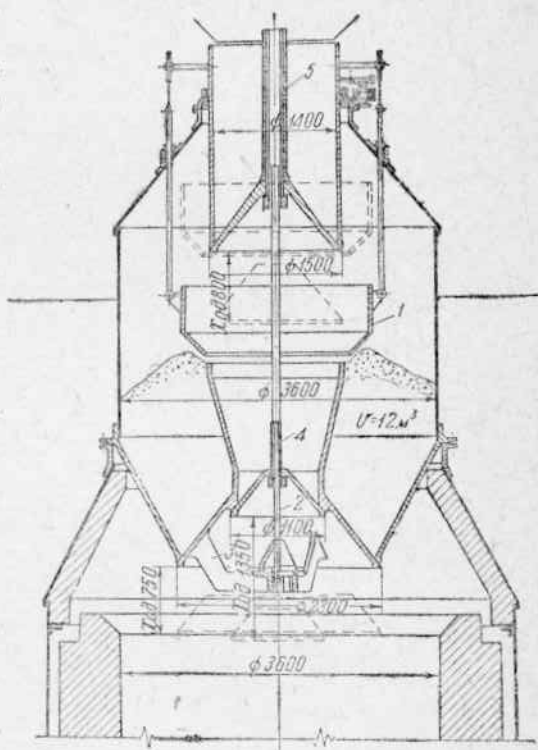
Неравномерность сглаживается при ссыпании на открытый малый конус, причем если некоторая неравномерность и останется, то она не может значительно влиять на распределение газов, и не вызовет одностороннего износа кладки шахты.

Для доменной печи с относительно малым диаметром колошника трудно расположить на периферии ограничителя хода, а поэтому ограничитель хода здесь можно сделать в виде центральной штанги 2, которая прикрепляется клиновым соединением к крестовине 3, состоящей из трех поперечин. Опора ограничителя хода может быть помещена над балансиrom центрального конуса. Штанга центрального конуса 4 в этом случае делается пустотелой, так же как и штанга 5 малого конуса. Во избежание застревания штанг при этом аппарате желательно иметь принудительное открывание конусов.

В отношении засыпи аппарат может дать правильное и регулируемое по желанию распределение материалов, которое обеспечивает минимальный расход горючего в доменной печи. Всем другим требованиям к рациональной конструкции описанный аппарат удовлетворяет на столько же, как двойная воронка Парри.

Небольшое усложнение аппарата наличием подвижной распределительной воронки с маневрированием самостоятельным приводом оправдывается теми преимуществами в распределении материалов, которые он дает при работе.

В отношении техники безопасности аппарат полностью отвечает предъявляемым требованиям — рабочие полностью устранены с колошника доменной печи.



Фиг. 241. Засыпной аппарат системы В. А. Сорокина с подвижной распределительной воронкой.

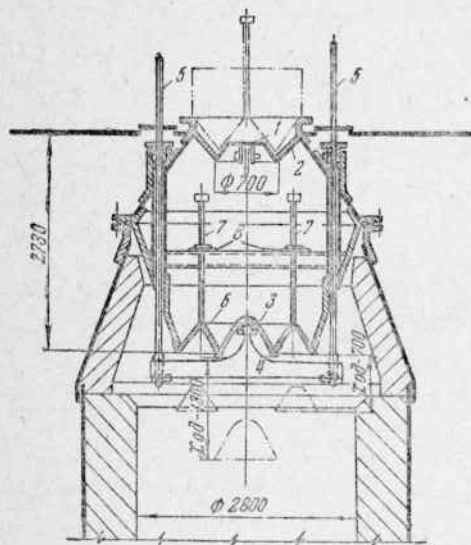
§ 35. Засыпные аппараты системы автора для механизированной загрузки при помощи бадьевых подъемников [35]

В условиях уральских заводов при наличии существующих бадьевых вертикально-горизонтальных или наклонных подъемников применение бадьевой загрузки иногда может оказаться необходимым, а поэтому создание рациональной конструкции засыпного аппарата для древесноугольных доменных печей с бадьевой загрузкой является желательным.

На фиг. 242 представлен засыпной аппарат с двойным затвором, предназначенный для загрузки бадьевым подъемником.

Верхний затвор аппарата обычного устройства состоит из малого конуса 1, прижимаемого к воронке 2 двумя рычагами, расположенными в плоскости, перпендикулярной к чертежу.

Нижний затвор состоит из центрального конуса 3, опирающегося через шаровое сочленение на траверсу 4, подвешенную на двух штангах 5, и из периферического конического кольца 6, снабженного двумя ограничителями хода 7. Коническое кольцо лежит на центральном конусе, и движение его вниз вместе с центральным конусом ограничивается опорами 8.



Фиг. 242. Засыпной аппарат системы В. А. Сорокина для бадьевой загрузки.

На фиг. 243, а, б, в, г приведен аналогичный описанному аппарат, запроектированный для доменной печи № 2 Чусовского завода.

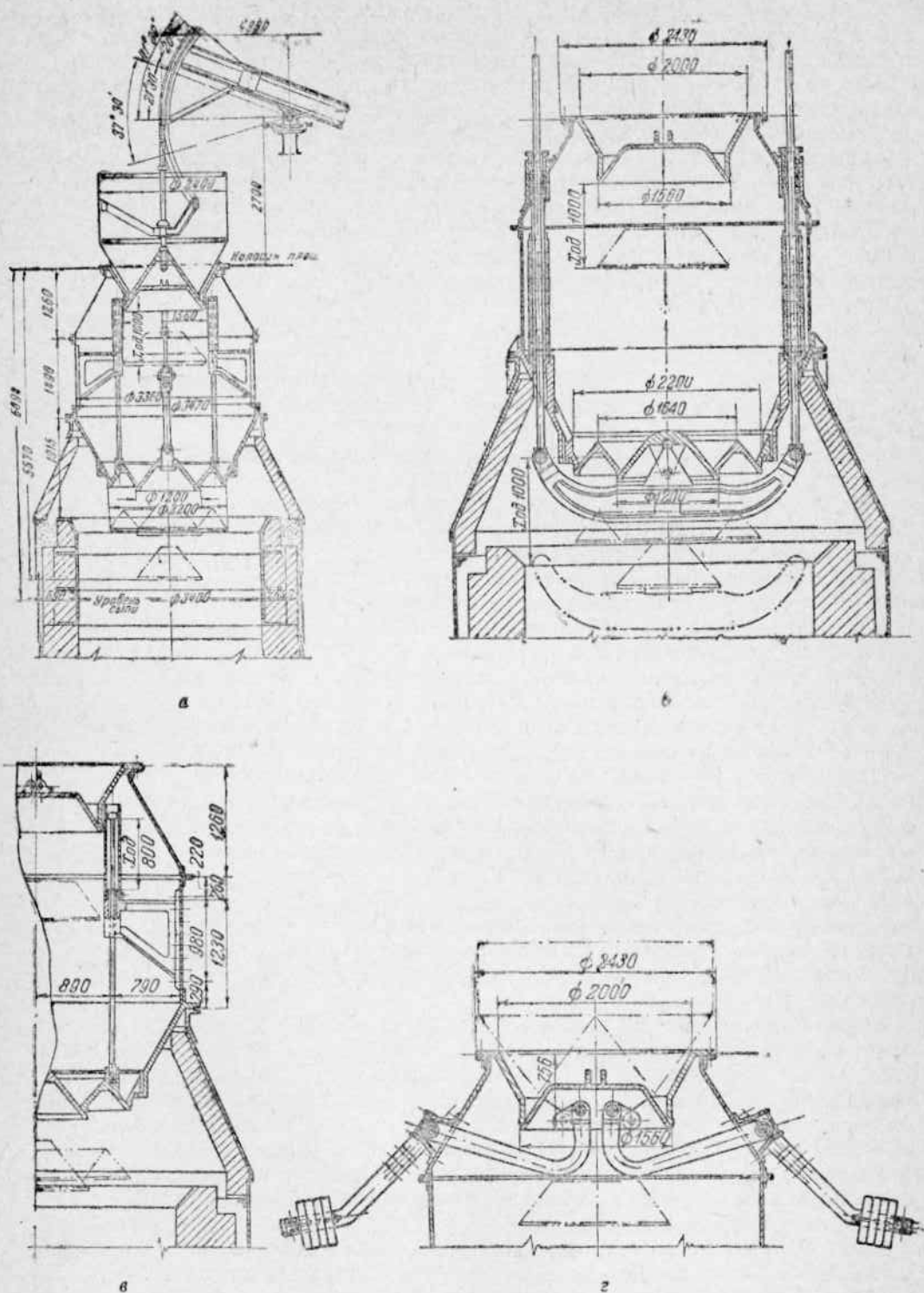
Материалы, поступающие на колошник в бадьях, разгружаются через верхний затвор аппарата на нижний затвор, где они располагаются по углу естественного откоса. При опускании конусов нижнего затвора вначале опускаются одновременно центральный конус и периферическое кольцо и в печь сыпается материал с периферического конического кольца. При достижении головками ограничителей хода опор, расположенных на кронштейнах, движение вниз периферического конического

кольца прекращается и дальше будет опускаться лишь один центральный конус, а в печь будет сыпаться тот материал, который остался на центральном конусе.

При обратном движении вверх центральный конус подхватывает на своем пути периферическое коническое кольцо и прижимает его к чаше засыпного аппарата.

Зная угол естественного откоса руд, нетрудно рассчитать размер рудной сыпи, которую желательно оставить на центральном конусе и дать в печь во внутреннее кольцо, а остальная рудная сыпь колоши пойдет на периферию. В зависимости от характера проплавливаемых руд в центральную часть печи, как показала практика печей, работающих с двойной засыпью, следует давать от 20 до 30% рудной сыпи, причем меньшие цифры принимаются для руд порошковатых и трудновосстановимых, а большие — для кусковатых и легковосстановимых руд. Аппарат позволяет в известных пределах производить регулировку количества рудной сыпи, поступающей в центральную часть печи, применением различной величины колоши.

Если размер колоши увеличить, то в центральную часть печи будет поступать относительно меньший процент рудной сыпи, а если, наоборот, размер колоши уменьшить, то в центральную часть печи поступит относительно больший процент руды.



Фиг. 243. Засыпной аппарат системы В. А. Сорокина для доменной печи Чусовского завода: а — разрез в плоскости ограничителя хода; б — разрез плоскости траверсы; в — деталь ограничителя хода; г — деталь малого конуса с установленной бадьей.

Таким образом, с развитым периферическим ходом печи при этом засыпном аппарате следует бороться с уменьшением величины колоши, и с осевым — увеличением ее размера. Если окажется необходимым изменить относительное количество руды, направляемой в центр, то этого можно добиться при помощи постановки на периферическое коническое кольцо цилиндрического кольца соответствующей высоты.

Поскольку на колошнике доменной печи нередко приходится при бадьевой загрузке прибегать к направлению посадки бадьи на верхний затвор, для чего на колошнике имеется рабочий, то для обеспечения наиболее безопасных условий работы в междуконусное пространство необходимо подавать пар, а смесь пара с газом, которая получается после опускания нижнего затвора, следует отсасывать при помощи небольшого эксгаустера, как это показано на фиг. 237 и 238.

Аппарат обеспечивает минимальные потери газа благодаря наличию двойного затвора.

При загрузке следует ждать небольшого измусоривания горючего и число перегрузок древесного угля при бадьевом способе подачи может быть сведено к минимуму.

Распределение материалов, даваемое аппаратом, не зависит от обслуживающего персонала.

Надзор необходим лишь за соблюдением чистоты нижнего затвора для устранения налипания руды на конусы, так как это налипание может вызвать нарушение в правильности распределения материалов.

Прочность деталей засыпного аппарата, его надежность работы и редкие ремонты на протяжении кампании печи являются его особенностью.

Для своей установки аппарат потребует высоты не больше, чем двойная воронка Парри для бадьевой загрузки.

При проектировании засыпных аппаратов с двойной засыпью для Кузнецкого металлургического завода на Уралмаше автором и инж. В. К. Грузиновым были впервые применены вместо ограничителей хода кронштейны для периферийного конического кольца засыпного аппарата (см. фиг. 201).

Однако для коксовых доменных печей ограничительные кронштейны являются ненадежными. Даже предохранительные плиты, работающие в более благоприятных условиях, приходится на коксовых доменных печах часто менять на протяжении кампании, а кронштейны, испытывающие большую ударную нагрузку со стороны ссыпавшихся материалов, будут выходить из строя значительно быстрее.

Для древесноугольных доменных печей применение ограничительных кронштейнов может представлять некоторый интерес, так как при этом можно освободиться от штанг в междуконусном пространстве, что представляет удобства.

При проектировании¹ засыпного аппарата системы автора для доменной печи Саткинского завода (фиг. 244) были применены вместо ограничительных штанг кронштейны. В настоящее время доменная печь Саткинского завода работает непродолжительное время, так что пока не представляется возможным сделать окончательное суждение о практичности ограничительных кронштейнов в условиях работы древесноугольной доменной печи.

Однако уже из небольшого опыта можно считать, что на центральном конусе не происходит сколько-нибудь заметного перемещения периферийного конического кольца.

Это обстоятельство подтверждает правильность соображения, что ограничительные штанги аппарата не подвергаются, вследствие отсутствия перемещений конического кольца, сколько-нибудь большим изгибающим усилиям.

¹ Проект доменной печи выполнен инж. П. Н. Васильевым и техн. А. Г. Трифоновым, которые правильно перенесли ограничительные кронштейны из области предохранительных плит в коническую часть верха шахты.

Первые результаты работы засыпного аппарата установленного на доменной печи Саткинского завода, характеризуются данными, приведенными в табл. 30.

Таблица 30

Данные о работе доменной печи Саткинского завода, в 1941 г. оборудованной засыпным аппаратом системы автора

Технические показатели	Январь	Февраль	Март	Апрель
Коэффициент использования полезного объема, $\text{м}^3/\text{т}$	1,34	1,31	1,32	1,28
Расход бакальской руды, $\text{т}/\text{т}$	1,87	2,09	1,93	1,92
В том числе обожженной, %	18,0	49,0	49,2	58,9
Расход древесного угля по объему $\text{м}^3/\text{т}$	6,34	6,80	5,77	5,85
по весу $\text{т}/\text{т}$	0,78	0,83	0,72	0,76
Нелетучего углерода $\text{кг}/\text{т}$	520	555	488	519
Чугуна:				
кремния, %				1,7
марганца, %				1,8
фосфора, %				0,030
серы, %				0,027
Шлак:				
кремнезема, %				56,0
глинозема, %				10,0
Колошниковый газ:				
углекислоты				14,2
окиси углерода				25,8
водорода				9,6

Как видно из табл. 30, расход древесного угля невысок и составит всего от 0,72 до 0,83 т, нелетучего углерода от 488 до 555 кг на тонну чугуна при проплавке легковосстановимых бакальских руд, в значительном проценте обожженных.

Производительность печи не достигла предельных результатов, потому что доменная печь Саткинского завода оборудована бадьевым вертикально-горизонтальным подъемником, который создает затруднение с подачей сырых материалов на колошник и этим ограничивает производительность печи.

Есть основания полагать, что при применении более производительного подъемника легко достигнуть максимально возможной в практических условиях производительности и при этом получить дальнейшее снижение горючего.

Уральский институт металлов провел на доменной печи регулировку засыпного аппарата, и бригадой работников Института под руководством инж. М. Ф. Кочина были получены несколько лучшие результаты по производительности печи и расходу горючего.

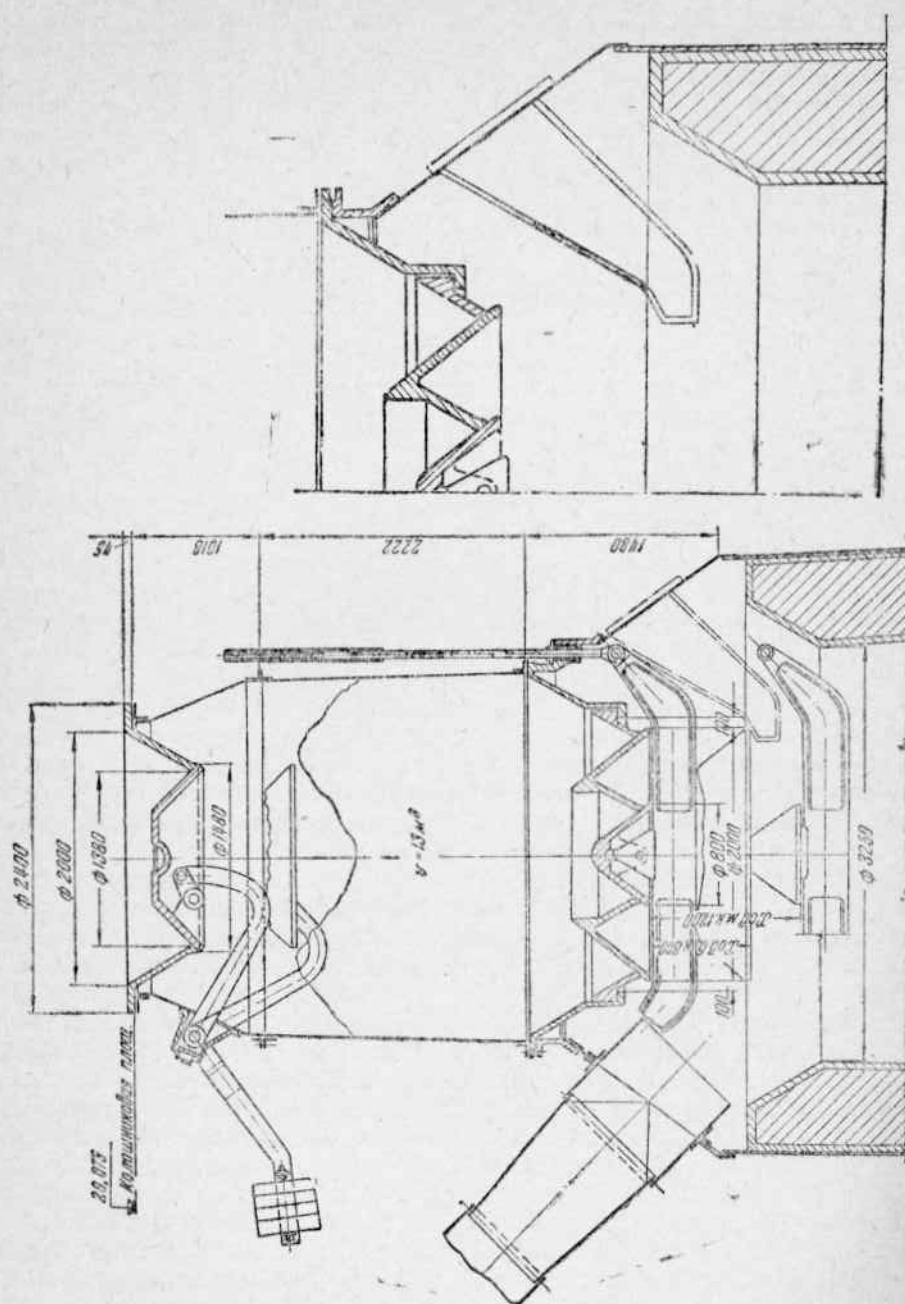
Производительность печи возросла до 180 т, а расход горючего снизился до 5,6 м^3 на тонну чугуна. Содержание углекислоты в газе поднялось до 15,5%, что указывает на хорошее распределение материалов, обеспечиваемое засыпным аппаратом. Исследование, проведенное инж. М. Ф. Кочиним, выявило, что во внутреннее кольцо можно подать большее количество руды, чем то, которое предусмотрено размерами аппарата.

Повидимому, на Саткинской печи, так же как и на Серовской печи, следует подавать во внутреннее кольцо рудной сыпи около 27—31%.

На фиг. 245 представлен вариант устройства аппарата описанной выше конструкции, запроектированный для доменной печи Чусовского завода.

Этот аппарат отличается тем, что траверса центрального конуса помещена в междуконусном пространстве, что делает ее более доступной в отношении осмотров и ремонтов.

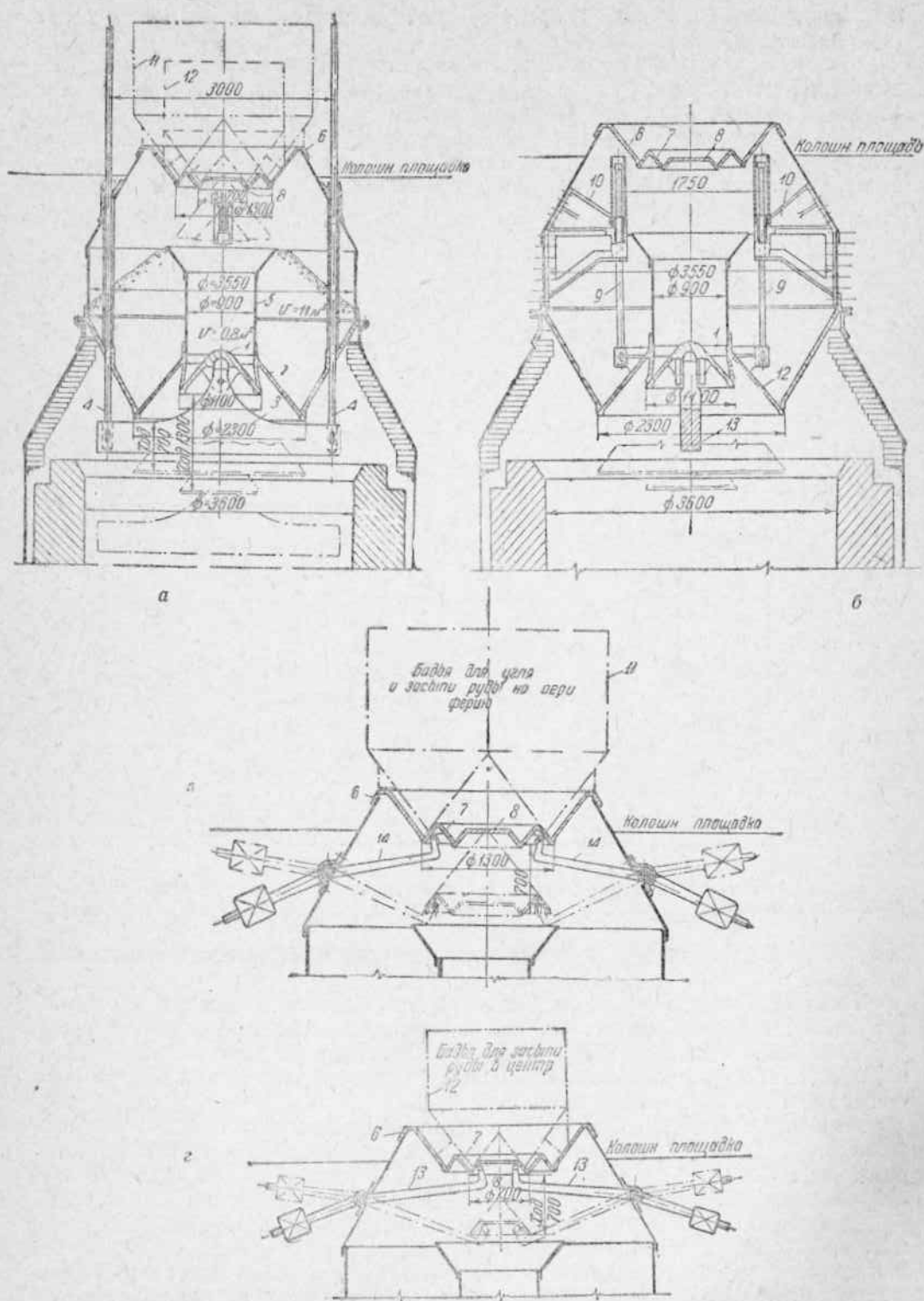
За счет небольшого усложнения верхнего затвора описанный выше аппарат можно сделать с распределением материалов, регулируемым в строгом ве-



Фиг. 244. Засыпной аппарат системы В. А. Сорокина для доменной печи Саткинского завода; общее устройство и деталь ограничительного кронштейна.

совом отношении между периферией и центральной частью доменной печи. Такой засыпной аппарат показан на фиг. 246, а, б, в, г.

Подача руды производится бадьями, причем бадья подающая руду на периферию 11, делается с конусом большего размера, чем бадья, подающая руду в центральную часть печи 12. Внешние габариты бадей при наличии направляю-



Фиг. 246. Засыпной аппарат системы В. А. Сорокина, для бадьевого загрузки с регулируемым рудной сыни по весу между периферийной и центральной частью печи.
 а — общий вид; б — нижняя часть (разрез); в — загрузка угля и руды на периферию;
 г — загрузка в центр.

Благодаря тому, что конус этой бадьи опирается только на центральный конус верхнего затвора, при опускании конуса бадьи открывается один центральный конус и рудная засыпь поступает в центральную воронку нижнего затвора.

Таким образом обеспечивается регулирование рудной засыпи между периферической и центральными частями доменной печи в желаемых весовых отношениях.

После того как необходимое количество материалов загружено на нижний затвор аппарата, опускаются тяги при помощи балансира, которые открывают нижний затвор аппарата. Вначале опускается одновременно центральный конус и периферический конус с воронкой и в печь сыпается материал с периферического конуса. Как только головки ограничительных штанг периферического конуса достигнут опорных кронштейнов, движение периферического конуса прекращается, начнет опускаться один центральный конус и в печь сыпается материал с центрального конуса.

При обратном движении вверх центральный конус подхватывает на своем пути периферический и прижимает последний к чаше нижнего затвора.

Описанный аппарат вполне удовлетворяет условиям техники безопасности, причем при наличии рабочего на колошнике, следящего за посадкой бадьи, в междуконусное пространство следует подводить пар и отсасывать смесь пара и газа экстрактором, с тем, чтобы атмосфера колошника не загрязнилась окисью углерода.

В отношении распределения материалов конструкция аппарата не уступает даже аппаратам с механизированной скиповой загрузкой.

При наполнении бадей из бункеров нетрудно обеспечить их равномерную загрузку как в количественном, так и в качественном отношении, применением их вращения во время загрузки материалом.

Наличие возможности регулировать рудную сыпь на периферию и в центральную часть печи позволит установить наиболее оптимальное соотношение между ними, что обеспечит наилучшее распределение материалов и газов по сечению колошника, лучшее использование восстановительной способности газов и физического тепла, что будет отвечать минимальному расходу древесного угля.

Распределение материала получится независимым от обслуживающего персонала, даже наливание руды на конусах не скажется на правильном его распределении.

Верхний затвор аппарата находится в благоприятных в температурном отношении условиях, а поэтому некоторое его усложнение не вызовет нарушение герметичности при открывании нижнего затвора. Надо полагать, что потери газа через аппарат будут не больше, чем при двойной воронке Парри.

Верхний затвор аппарата обеспечивает при вращении бадей правильное распределение материалов.

Простота конструкции аппарата, его прочность и легкость замены срабатываемых деталей обеспечат бесперебойную работу последнего на протяжении кампании доменной печи.

Для своей установки аппарат не потребует больших размеров по высоте, чем двойная воронка Парри, так как центральный конус при опускании не требует дополнительной высоты, находясь над воронкой на колошнике по оси печи.

Высоту уровня засыпи при этом аппарате можно держать по желанию достаточно высоко, если это потребует необходимость.

ЛИТЕРАТУРА

- Акад. М. А. Павлов, *Металлургия чугуна — Доменный процесс*;
Акад. М. А. Павлов, *Атлас чертежей — Домашние печи*.
Проф. А. Ф. Новоселский, *Конструкции доменных печей*
Clements, *Blast furnace practice*
Johnson, *Blast furnace construction in America*.
1. В. А. Сорокин, Первые результаты работы доменных печей № 1 и 2 Магнитогорского завода, журн. «Сталь» № 3 и 4, 1932.
 2. В. А. Сорокин, Устройство и оборудование современных доменных печей, ч. 1.
 3. Проф. А. Н. Похвиснев, С. К. Трекало и инж. Г. А. Воловик, Распределение дутья по фурмам доменной печи № 1 Запорожстали, журн. «Теория и практика металлургии» № 5, 1938.
 4. Шнигрис, О применении алюминиевых фурм, «Stahl und Eisen» № 47, 1933.
 5. В. Барт, Исследование подачи дутья фурменными приборами, Stahl und Eisen, № 26, 1936, реферат «Новости иностранной металлургии» № 6, 1937.
 6. Инж. А. М. Цылев, Исследование работы горна доменной печи № 1 Новолипецкого завода, журн. «Советская металлургия», № 5, 1938.
 7. Инж. З. М. Некрасов, Прогар воздушных фурм доменных печей и борьба с ними, «Домез» № 8, 1932.
 8. Лайсон, Новый тип фурм доменных печей, — Iron and Coal Trade Review, 1936, 864, реферат «Новости иностранной металлургии» № 5, 1937.
 9. Проф. В. А. Сорокин, Авторское свидетельство № 52289.
 10. А. И. Рязанцев, Критические замечания о фурменном устройстве В. А. Сорокина, «Теория и практика металлургии» № 10 и 11, 1939.
 11. Проф. В. А. Сорокин, Устройство и оборудование современных доменных цехов, ч. II.
 12. Инж. Горяев, «Сталь» № 3, 1935.
 13. Инж. Позини Гольдштейн, Движение шихты и газов в доменной печи, «Советская металлургия» № 9, 1936.
 14. Рейхардт, Конструкции засыпных аппаратов и способы загрузки материалов в доменную печь на немецких заводах, Stahl und Eisen 52, 1932, № 7.
 15. Johnson, «The principles, operation and products of the blast furnaces».
 16. Новости иностранной металлургии № 3, 1936.
 17. Инж. Д. Е. Ефремов, Исследование работы аппарата Мак-Ки доменной печи № 3 Магнитогорского завода.
 18. Кинни, «Столб шихты в доменной печи» Technical Paper № 442, Bureau of Mines, U. S. A.
 19. Фельдман и Стокер, Распределение материалов в доменной печи, Stahl und Eisen 1933, № 12.
 20. Хохлов, Зайцев, Горбанев, Исследование засыпного аппарата доменной печи № 3 Чусовского завода, «Уральская металлургия», № 7, 1936.
 21. Джонсон, Распределение температур по сечению шахты доменной печи, Blast furnace and Steel plant № 2, 1938.
 22. З. М. Некрасов, В. П. Оноприенко, Работа газов в шахте и процессы в горне доменной печи, Теория и практика металлургии, № 3, 1940.
 23. М. Козлов, Я. М. Гольдсток, В. Т. Басов, И. Н. Семик, Исследование работы шахты и горна доменной печи № 1 Магнитогорского завода, «Советская металлургия» № 5 и 6, 1935 и № 9, 1936.
 24. Инж. М. Козлов, Исследование работы доменной печи № 3 Запорожстали, «Сталь» № 4 и 5, 1939.
 25. Проф. В. А. Сорокин, О профиле Магнитогорских доменных печей в связи с развитием профилей доменных печей Америки, «Советская металлургия» № 2, 1932, а также № 7 1937 Проблема рационализации засыпи доменных печей в журнале «Сталь» № 1 и 2, 1932 — Перспективы развития профиля и увеличение производительности доменных печей.
 26. Фельдман, Стокер, Движение газа в доменной печи и зависимость его от рода загрузки, № 52, 1935.
 27. Проф. В. А. Сорокин, Авторское свидетельство № 34571, см. статью «К рационализации загрузки доменных печей», «Сталь» № 3 и 4, 1932.
 28. Проф. доктор И. А. Соколов, Доменный процесс, 1938.
 29. Проф. доктор И. А. Соколов, Древесноугольные доменные печи Урала.
 30. M. Tjerschiöld, Современное положение доменного производства в Швеции Jernkontorets Annaler, 1934, № 81/2, «Новости иностранной металлургии» № 3, 1935.
 31. Проф. В. А. Сорокин, Авторское свидетельство № 51232.
 32. Проф. В. А. Сорокин, Улучшение конструкций засыпных аппаратов для древесно-угольных доменных печей, Сборник работ по безопасности труда в доменном производстве № 4, 1933.
 33. Проф. В. А. Сорокин, Авторское свидетельство № 51232.
 34. Проф. В. А. Сорокин, Авторские свидетельства №№ 45936 и 34571.
 35. Проф. В. А. Сорокин, Авторское свидетельство № 34571.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора 3

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ПОДВОД ДУТЯ, ШАХТА И ВОДОПРОВОД ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Глава I. Устройство для подачи дутья в доменную печь

1. Воздухопровод горячего дутья и воздухораспределительная труба	4
2. Распределение дутья по фурмам и влияние на него расположения чугунной и шлаковой леток	7
3. Выбор размеров трубопроводов горячего дутья	11
4. Устройство фурменных приборов и их эксплуатация	—
5. Охлаждение фурменного отверстия и ввод дутья в печь	19
1. Высов фурм	—
2. Горение фурм	20
3. Материал для фурм	22
4. Конструкция воздушных фурм	23
5. Фурменные холодильники	31
6. Амбразура	33
6. Устройства для регулирования дутья по фурмам	34
7. Устройства для вдувания твердых и жидких материалов через фурмы в горн дом. печи	35
8. Устройство фурм. прибора, не требующего останова дом. печи для смены фурм	36
9. Механизация смены фурм и фурменных холодильников	43

Глава II. Шахта доменной печи

10. Европейский тип шахты	44
11. Шахта шотландского типа	45
1. Кожух шахты	47
2. Колошны	51
3. Опорное кольцо под колонны	54
4. Опорное кольцо под шахту	57
§ 12. Об износе шахт доменных печей	59
1. Влияние характера профиля доменной печи на износ шахты	—
2. Влияние размера и конструкции засыпного аппарата на износ шахты	—
3. Влияние конструкции запечников на износ шахты	60
4. Влияние системы охлаждения на износ кладки шахты	61
5. Влияние размера колошны на износ шахты	—
6. Влияние качества проплавляемых материалов на износ шахты	62
7. Влияние распределения дутья по фурмам на износ шахты	—
8. Влияние на износ шахты качества кирпича и кладки	—
§ 13. Охлаждение шахты доменной печи	63
1. Тонкостенная шахта с поверхностным охлаждением	—
2. Шахта системы Бургерса	—
3. Шахта, предложенная автором	65
4. Шахта с охлаждением вертикальными холодильными плигами	68
5. Шахта с охлаждением горизонтальными холодильниками	69
6. Охлаждение шахты при помощи верт.-гориз. холодильников системы автора	76
§ 14. Устройство и крепление верхней части шахты доменной печи	78
§ 15. Ремонт шахты доменных печей	88

Глава III. Водопровод доменной печи

16. Общие соображения	92
17. Подвод воды к доменной печи	93
18. Подвод воды к фурмам и охлаждающим устройствам печи	96

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЗАСЫПНЫЕ АППАРАТЫ ДРЕВЕСНОУГОЛЬНЫХ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Глава I. Основные приемы распределения материалов в доменных печах

1. О значении распределения материалов в доменных печах	102
2. Понятие об оптимальном распределении материалов по сечению колошника	103
3. Распределение материалов с опускающегося конуса (прием, предложенный Парри)	106
1. Общие соображения	—
2. Засыпь с гребнем рудной линзы у стенки печи	109
3. Контакт газов со столбом шихты при засыпи с гребнем рудной линзы у стенки печи	112

4.	Контакт газов со столбом шихты при засыпи с отходом гребня рудной лнзы от стенки печи	126
5.	Определение размеров большого конуса	127
6.	Определение нормального уровня глубины засыпи	—
7.	О выборе величины колоши	128
§ 4.	Распределение материалов и контакт газов со столбом шихты при засыпи с неподвижной воронки	130
§ 5.	Распределение материалов с нескольких последовательно опускающихся концентрических конусов (прием, предложенный автором)	131

Глава II. Обзор и критическая оценка работы засыпных аппаратов для древесноугольных доменных печей

6.	Общие соображения	133
7.	Основные требования, предъявляемые к засыпным аппаратам для древесноугольных доменных печей	134
8.	Ручная засыпь	135
9.	Засыпь аппаратом Парри	136
10.	Засыпь аппаратом системы И. В. Поносова	138
11.	Засыпь аппаратом южно-уральского типа	141
12.	Засыпь аппаратом системы Шарлевиля	148
13.	Засыпь аппаратом системы Толацера	149
14.	Засыпь аппаратом Квеннгерштедта	151

Глава III. Контакт газов со столбом шихты древесноугольной печи нормального профиля при засыпи одним и двумя концентрическими кольцами, и их сравнение

15.	Общие замечания	154
16.	Экспериментальный засыпной аппарат системы автора для доменной печи	154
17.	Однокольцевая засыпь по приему Парри	162
18.	Двухкольцевая засыпь с недогрузкой внутреннего кольца	167
19.	Двухкольцевая засыпь с перегрузкой внутреннего кольца	181
20.	Засыпь двумя обособленными кольцами	187
21.	Оптимальная засыпь	198
22.	Распределение материалов и работа газов над чугуниной леткой	210
23.	Распределение материалов и работа газов на среднем горизонте	216
24.	Работа горна	222
1.	Общие замечания	—
2.	Работа горна при засыпи аппаратом Парри	—
3.	Работа горна при двухкольцевой засыпи с недогрузкой внутреннего кольца	225
4.	Работа горна при двухкольцевой засыпи с перегрузкой внутреннего кольца	230
5.	Работа горна при засыпи двумя обособленными кольцами	232
6.	Работа горна при оптимальной засыпи	233
§ 25.	Сравнение однокольцевой засыпи воронкой Парри с засыпью двумя регулируемыми концентрическими кольцами	239
§ 26.	Сравнение различных случаев засыпи двумя концентрическими кольцами	248
§ 27.	Характеристика оптимального режима работы на примере доменной печи Серовского завода на литейные чугуны	257
§ 28.	Характеристика оптимального режима работы на примере доменной печи Серовского завода на передельные и валковые чугуны	258

Глава IV. Сравнение засыпных аппаратов с точки зрения достижения оптимальной засыпи и минимального расхода горючего.

29.	Сравнение аппарата Парри с засыпью двумя кольцами	259
30.	Сравнение аппарата системы автора с засыпным аппаратом ю.-уральского типа	261
31.	Сравнение результатов работы доменной печи Серовского завода с работой шведских доменных печей	265

Глава V. Предложения по улучшению конструкции засыпных аппаратов для древесноугольных доменных печей

32.	Усовершенствование засыпного аппарата доменной печи Серовского завода	268
33.	Засыпной аппарат системы автора для доменной печи Пашинского завода	269
34.	Засыпные аппараты системы автора для механизированной загрузки при помощи скиповых подъемников	274
35.	Засыпные аппараты системы автора для механизированной загрузки при помощи бадьевых подъемников	278
Литература		286