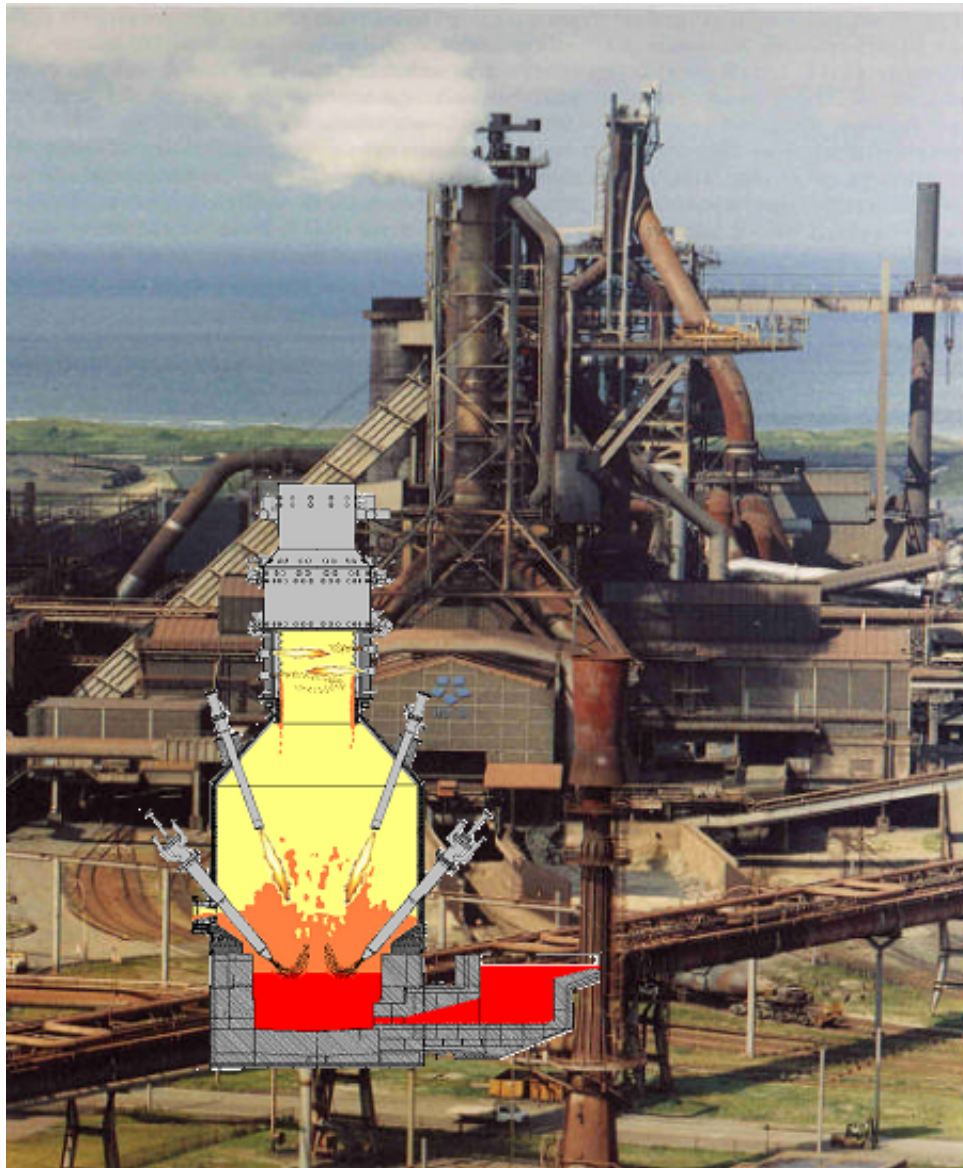




Главная ошибка при обогащении железной руды Главная ошибка при получении металла

Преимущества Технологии совмещения обогащения и металлургии прямого восстановления железа (ODDRI).



2018



Для принятия инвестиционных решений Владелец ГОК-а задает топ-менеджерам простые вопросы:

1. **КТО КУПИТ – КОМУ НУЖНЫ** продукты ГОК-ов - сырьевые порошковые или окучкованные полупродукты для металлургической промышленности, в перспективе 30-50 лет на которые рассчитаны новые мощности?
2. **СКОЛЬКО ЕСТЬ** - количество доступного сырья – железной руды, коксующегося угля? Как перерабатывается это сырьё? Возможны ли улучшения процессов переработки сырья?
3. **ЧТО ВЫГОДНЕЕ** - производство сырьевых полупродуктов (руда, концентраты, окатыши) или конечных продуктов (чугун, сталь, металлизированные порошки)?
4. **СКОЛЬКО СТОЯТ** - процессы полного цикла получения металла, отдельно, по каждому переделу?
5. **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ?** Какие новые технологии получения сырья и металла готовы к реализации? Что строят европейцы, американцы, китайцы?
6. **ROI?** Как быстро окупятся инвестиции? Нужно ли направлять инвестиции в новые технологии получения металла?

Ответы, на основе знаний, опыта приведены на следующих страницах.

1. КТО БУДЕТ ПОКУПАТЬ продукцию традиционных ГОК-ов, ориентированных на получение окучкованного железорудного сырья, для доменных печей? Производители кокса могут задать себе такой же вопрос.

ГОК-и, производители окомкованных рудных концентратов, коксовые заводы производят сырьё для агрегата **одного единственного типа – доменной печи / шахтной печи**. Доменный процесс определяет общий вид и структуру современного цикла получения металла.

Судьба ГОК-ов, производителей кокса, предприятий добывающих коксующиеся угли, неотделима от судьбы, которая ожидает «Доменную металлургию».

Анализ судьбы, коренных пороков и положительных сторон доменного процесса проведён ниже в разделе «**Главная ошибка при получении металла**».

2. СКОЛЬКО ЕСТЬ СЫРЬЯ? КАК ПЕРЕРАБАТЫВАЕТСЯ железорудное сырьё?

2/5 используемого в черной металлургии железосодержащего сырья составляет вторичное сырьё. В некоторых странах доля лома (вторичного сырья) в сталеплавильном производстве превышает 1/2 (Италия, Испания, Швеция, Аргентина). Общая тенденция металлургии – возрастание доли вторичного сырья.

3/5 железорудного сырья, получают из первичной руды. 90% этого первичного сырья, перерабатывают по «длинному циклу» - обогащение + окомкование + восстановление и плавка в доменной печи с получением чугуна+ сталеплавильное производство.

10% первичного сырья перерабатывают в различных печах «новой металлургии» по «короткой схеме», частично без окомкования и с прямым получением железа, без стадии получения чугуна.

Железо прямого восстановления (ЖПВ = DRI) используется почти исключительно в электрометаллургии как источник железа при производстве стали. Это прямой и очень серьезный конкурент металлолому и чугуну. Развитие производства ЖПВ неразрывно связано с развитием электросталеплавильного производства. Среднегодовой темп развития производства ЖПВ около 9%, как и электростали.

Крупнейшими производителями продукции ЖПВ (DRI) в мире являются Индия (20 млн. тн), Венесуэла (7,7 млн. тн), Иран (7,4 млн.тн), Мексика (6,3 млн. тн). На долю этих стран приходится около 60% всего производства в мире.

Общие показатели переработки железной руды приведены в разделе «**Главная ошибка при обогащении железной руды**».



3. СКОЛЬКО СТОИТ - стоимость реализации технологий – составляющих цикл получения металла, отдельно, по каждому переделу?

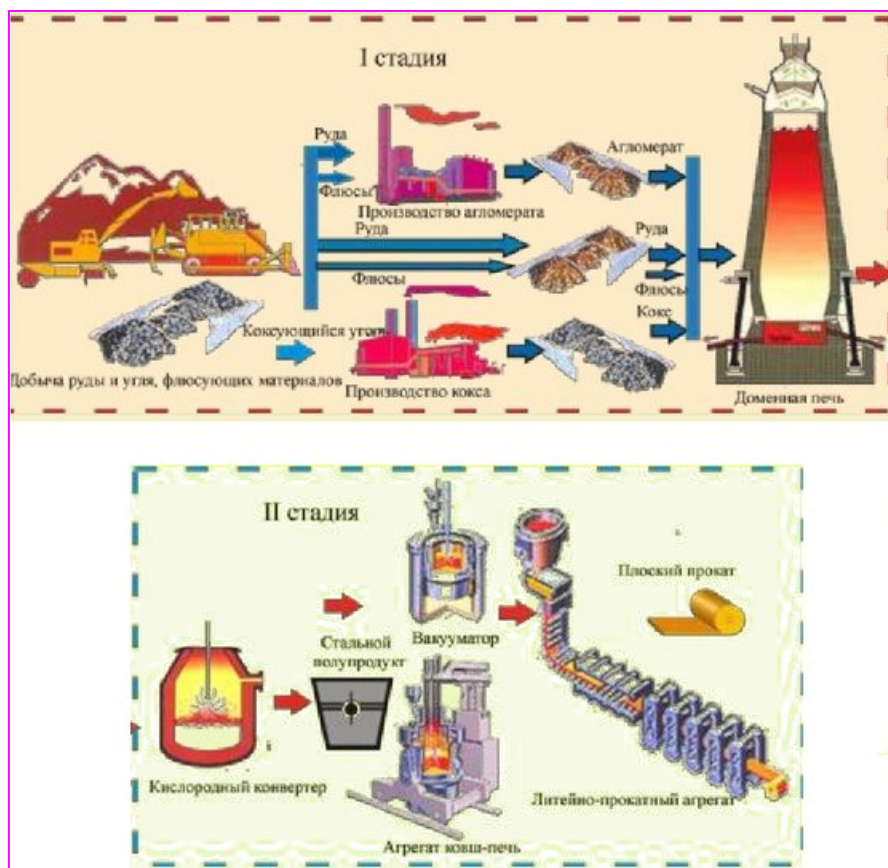


Рис 1. Процессы 2х-стадийного «доменного» цикла получения стали
 1 – получение чугуна
 2 – получение стали

Таблица 1. Себестоимость процессов «доменного» производства стали
 (удельные затраты рассчитаны на тонну жидкой стали)

	железная руда	железорудный концентрат	окускование окатыши	восстановление в доменной печи - чугун	электроплавка до жидкой стали	рафинирование жидкой стали
	\$/тонн.жидк. стали	\$/тонн.жидк. стали	\$/тонн.жидк. стали	\$/тонн.жидк. стали	\$/тонн.жидк. стали	\$/тонн.жидк. стали
ОРЕХ	10,00	40	50	20	50	10
стоимость рудного сырья	10	50	100	120	170	180
стоимость с учетом кокса	140			260	310	320
соотношение цен пром. продукта	1	5	10	26	31	32

4. ЧТО ВЫГОДНЕЕ - производство сырьевых полупродуктов (руда, концентраты, окатыши) или конечных продуктов (чугун, сталь, металлизированные порошки)?

Соотношение цен

жрд. руда = 1 : жрд. концентрат = 5 : железорудные окатыши = 10 : чугун = 26 : сталь = 32

подтверждает хорошо известный принцип: **инвестиции в сторону получения готовых продуктов более выгодны, так как повышают стоимость конечной продукции, капитализацию предприятия.**



Таблица 2. Составляющие себестоимости стали

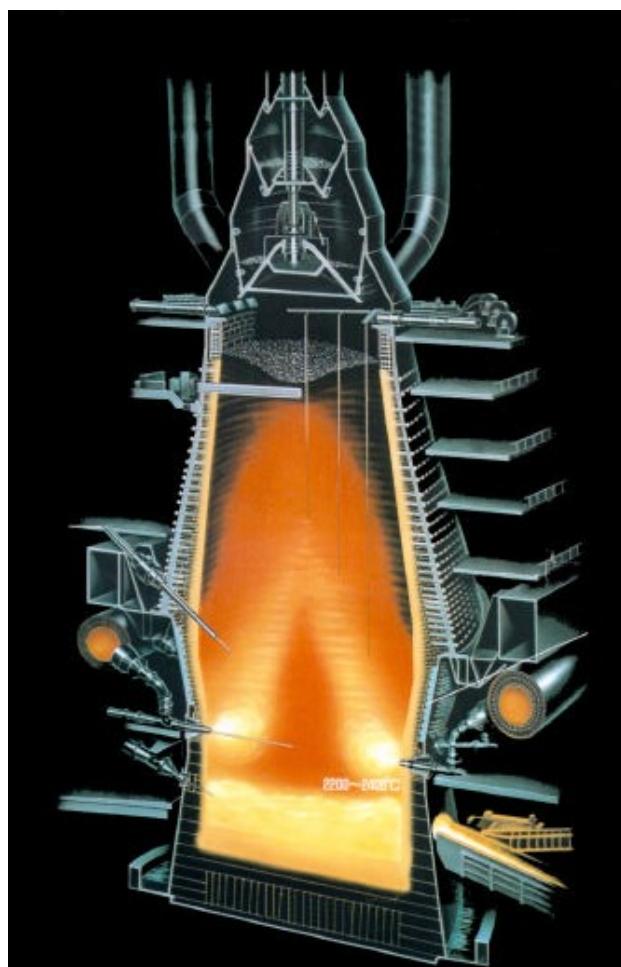
Стоимость стали	100%	
Стоимость окучкованного сырья	75,6%	<i>от себестоимости стали</i>
Стоимость чугуна	80%	<i>от себестоимости стали</i>
Стоимость доменной плавки	5-6%	<i>от себестоимости стали</i>
Стоимость электроплавки	15-16%	<i>от себестоимости стали</i>
Стоимость рафинирования стали	3-4%	<i>от себестоимости стали</i>

Подготовки окучкованного рудного сырья имеет свою цену:

- цена окучкования нередко составляет больше половины всей стоимости доменного рудного сырья и больше четверти стоимости чугуна;
- агломерация или производство обожженных окатышей из концентрата обходятся, с учетом затрат на топливо, обычно в 2 раза дороже, чем сам доменный процесс без стоимости сырья;
- суммарная стоимость окучкования рудного сырья = 40-50% от себестоимости чугуна;
- стоимость окучкованного рудного сырья + кокс в 13 раз выше чем стоимость затрат по доменному переделу.

Производстве качественных углеродистых сталей – «доработка» чугуна имеет свою цену:

- затраты электроплавки и рафинирования в 3 раза больше, чем затраты доменного передела;
- затраты на графитовые электроды составляют 8% себестоимости стали при работе обычных печей, для сверхмощных печей такие затраты могут превышать 15%.



Подготовка окучкованного топливного сырья для доменного передела - Кокса.

Суть коксования – спекание шихты из нескольких сортов коксующихся углей с удалением летучих. Продуктом является кусковой кокс с высокой термической прочностью и коксовый газ (вынужденный нецелевой продукт). Коксовый газ утилизируют сжигая в самой коксовой батарее, установках нагрева воздуха для доменной печи и других процессах, не связанных с доменным производством.

Стоимость кокса в 2-5 раз превышает стоимость коксующихся углей.

Количество коксующихся углей, из которой можно получить высококачественный кокс ограничено.

Совершенствуются методы снижения потребления кокса, развиваются процессы бескоксовой «новой металлургии».

Рис 2. Крупная Доменная печь.

Диаметр 14 м, Высота 46 м,
Объем – 4450 м³



Таблица 3. Показатели работы крупной доменной печи

Производительность печи по горячему металлу, тонн/в день	10.000
Потребление рудного сырья 20-30 мм, тонн/день	16.000 - 20.000
Потребление кокса 40-60 мм, тонн/день	4.000 - 6.000
Потребление флюсов 10-50 мм, тонн/день	2.000 - 4.000
Потребление компрессорного воздуха, нм3/час	11.000
Горячее дутьё 1250 °С, нм3/час	6.800
Генерация шлака, тонн/день	4.000 – 5.000
Генерация доменного газа, нм3/час	15.000
Удельная интенсивность процесса получения чугуна, кг/м3 в час	60-70

Главная ошибка при получении металла

Судьба сырьевых ГОК-ов неотделима от судьбы, которая ожидает «Доменную металлургию». Рассмотрение Доменной металлургии базируется на результатах, в том числе прямом цитировании, книги профессора **Павлова Валерия Васильевича** «Несообразности металлургического цикла. Их устранение»

Доменный процесс определяет общий вид современного металлургического цикла, является структурообразующим или системообразующим элементом всего цикла. Металлургический цикл с его достоинствами пороками сложился в донаучную эпоху в результате многовекового стихийного развития, под воздействием многих исторических случайностей.

В результате распространения доменного процесса рядовая сталь оказывается в 1,5-2 раза дороже, чем могла бы быть в случае разработки металлургических процессов методами химической технологии. Подобная ситуация и в пирометаллургическом получении ряда цветных металлов, так как многие агрегаты цветной металлургии создавались по образцу доменных печей.

Следуя работе профессора Павлова В.В. отметим основные достоинства и коренные пороки доменного процесса.

Порок 1) В доменной печи газообразные продукты горения вплоть до колошника контактируют с коксом, горение всюду идет при избытке топлива, как в газогенераторе, поэтому кокс удается сжечь в основном лишь до CO, но не до CO₂.

$MeO + CO = Me + CO_2$, реакции восстановления металлов.

$C + O_2 = CO_2 + \Delta H_{298} = 395 \text{ кДж/моль}$, полное сгорание

$C + CO_2 = 2CO$, вследствие постоянного избытка углерода в шахте доменной печи

$C + O_2 = 2CO + \Delta H_{298} = 110 \text{ кДж/моль}$, получаемое тепло в 3,56 раза меньше теплоты полного сгорания. На этой первой стадии горения выделяется лишь 28% тепла. Из-за этого печь получает от горения топлива в 2-3 раза меньше тепла, остаточное химическое тепло выносятся из печи в виде низкокалорийных доменных газов

Порок 2) В доменной печи приходится применять дорогой кокс, а не уголь, из-за того, что здесь требуется организовать горение кусков топлива, смешанных с кусками рудной компоненты, в условиях давления слоя шихты высотой около 30 м. Кокс обладающий высокотемпературной прочностью в 4-6 раз дороже рядового топливного угля.

Порок 2 является причиной развития и существования коксохимических заводов.

Порок 1+Порок 2 вместе делают тепло горения топлива в доменной печи примерно в 10 раз дороже [(2-3)×(2-6) = 10] по сравнению с хорошей угольной топкой парового котла, то есть по сравнению с такими агрегатами, где, во-первых, топливо сгорает практически полностью (до CO₂, H₂O), и, во-вторых, где используется сравнительно дешевый уголь, а не кокс.

Тепло горения топлива в домне оплачивается, грубо говоря, **в десятикратном размере**. Если бы топливо сжигалось отдельно от руды, в своей зоне, то физические свойства его были бы несущественны, и можно было бы вместо кокса применять кусковой уголь или угольную пыль. Тепло горения топлива при этом было бы **ординарным**, оплачивалось почти в однократном, а не в десятикратном размере.



Порок 3) Рудная компонента в домне, как и топливо, также должна применяться в **окускованном** виде, в виде обожженных окатышей или агломерата. Это делает рудную компоненту дороже в 2 раза и более, по сравнению с железорудным концентратом.

Порок 3 является причиной развития и существования производств окомкования рудных концентратов. В «новой металлургии» рудную компоненту можно использовать в исходном виде как порошок концентрата.

Порок 4) смешивание окатышей с избытком топлива приводит к тому, что после восстановления куски металла оказываются в топливной засыпке, и их плавление дает насыщенный углеродом чугун, эвтектический расплав с содержанием углерода около 4,3 %. Поэтому для получения стали требуется удалить лишний углерод. Для удаления углерода, получения качественной стали выполнить еще сталеплавильный передел. Этот передел нужен в основном для того, чтобы исправить сравнительно небольшой «перебор» доменного процесса, устранить некоторое переуглероживание, перевосстановление металла.

Порок 4 – смешение рудной компоненты с топливом является причиной развития и существования переработки чугуна при производстве стали.

Порок 5) ещё одна несообразность совместной продувки рудного сырья и топлива – работа доменной печи при неустойчивом движении материалов, в режиме капризного и часто почти неуправляемого процесса.

Сход материалов в домне определяется силами трения в спекающихся массах кускового топлива и рудного сырья, а такое движение принципиально неустойчиво, оно переходит в чередование подвисаний и обрушений шихты и, соответственно, перегревов и переохлаждений горна. Ровный сход шихты означает обычно, что подвисания и обрушения мелкие и частые, так что для общего движения они незаметны.

Действуя снаружи цельного корпуса доменной печи / шахтной печи большой мощности трудно повлиять на соотношение процессов, выделяющих и поглощающих тепло.

Не удастся регулировать соотношение горения кокса, с одной стороны, и восстановления и плавления шихты, с другой. Доменщик часто почти не может быстро повлиять на соотношение горения и восстановления-плавления, выделения и поглощения тепла в горне. Возникает множество других расстройств хода печи.

При перегреве или захолаживании горна рекомендуется изменять долю кокса в завалке, но этот кокс дойдет до горна лишь через 6-20 часов. Процесс считают достаточно установившимся обычно не раньше, чем через 10 дней работы при новых параметрах.

«Раздуть» домну после ремонта и вывести ее на стационарный режим удастся лишь за время порядка месяца. Для сравнения отметим, что сталеплавильный агрегат, даже самый большой, переводят на новый режим работы, например, за 10 минут, но не за полмесяца. Кислородный конвертер можно заполнить жидким металлом и вывести на стационарный режим продувки, например, за 10 минут, а не за месяц.

Любой грамотный металлург в основном соглашается со всем сказанным по несообразностям, если удастся привлечь к этому его внимание.

Можно заранее сказать, что современные методы химической технологии, в которых до 1 % оптимизируются расходы топлива и сырья НИКОГДА не привели бы к созданию доменного процесса.

Последние 50-60 лет разрабатываются процессы, которые могли бы составить конкуренцию доменному процессу в получении основной массы металла.



ПРИМЕР 1: Как происходит Замена неэффективной технологии новыми процессами.
В печах мокрого способа производства цемента процесс был плохо управляемым, долго и трудно выходили на режим, как в доменной / шахтной печи.



Во вращающиеся печи длиной 120-180 м подавали высоко-влажный шлам цементного сырья, высушивали шлам, затем спеканием получали цементный клинкер с температурой 1200-1300°C.

Рис 3. Печи производства цемента по мокрому способу длиной 180 м

Процесс плохо поддавался контролю и регулированию, расход топлива в два раза превышал теоретически возможный.

В новом сухом способе производства цемента, во вращающуюся печь спекания подают подготовленную порошкообразную шихту нагретую в циклонном теплообменнике до 700-800°C, укоротили печь в 2,5-3 раза при повышении производительности в 4 раза. Это позволило в два раза снизить удельный расход топлива и сделало процесс хорошо управляемым. Установки сухого способа реагируют на изменение режима в течение нескольких минут.

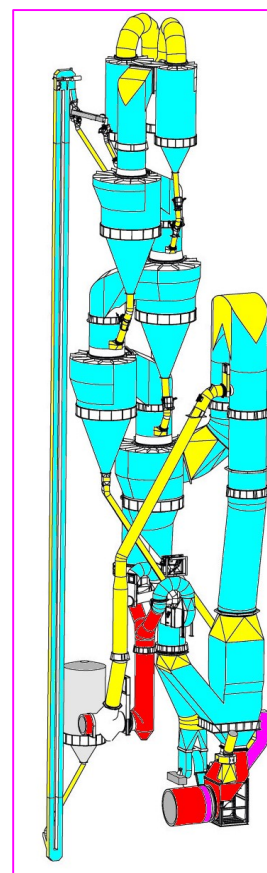
Как происходила замена плохо управляемой технологии ? Установки сухого способа за 30-40 лет почти полностью вытеснили собой монстрообразные вращающиеся цементные печи мокрого способа. Установки мокрого способа **просто не строились более, а при выходе из работы, не ремонтировались и выводились из работы.** В настоящее время 95% производства цемента в мире (за исключением России) выполняется на установках сухого способа, процесс которого оптимизирован по расходу топлива и является хорошо управляемым.

В установках сухого способа производительностью 200-300 тонн/час клинкера отработаны аппаратурно и реализуются на тысячах промышленных установок процессы восстановительного сжигания дешевого угольного топлива и высокотемпературного нагрева порошкообразного сырья (по крупности частиц - аналог железорудного концентрата) перед спеканием.

Рис 4. Кальцинатор и пяти-ступенчатый циклонный теплообменник для нагрева сырья перед печью спекания клинкера.

Технические решения сухого способа производства цемента, с добавлением кислородного дутья, с успехом применяются в «новой металлургии» железа, включая процессы металлизации с получением сырья для порошковой металлургии.

Использование высокотемпературных циклонных теплообменников и кальцинаторов в процессах «новой металлургии» обеспечивает нагрев порошкообразного железо-рудного сырья перед подачей на плавку и восстановление в высокотемпературные реакторы.





СВЯЗИ доменного производства с процессами Обогащения железной руды

Порок 1+Порок 2 обусловившие 10-ти кратное увеличение стоимости топлива доменного процесса оказывают своё влияние и на **процессы обогащения железной руды**, конкретно - на глубину процесса обогащения – содержание железа в товарном концентрате и количество промпродукта (150 тонн железа на 1000 тонн руды), который выводится в настоящее время в отходы обогащения.

Если бы **топливо для домны не стоило так дорого**, и/или химическое тепло топлива полностью использовалось бы в этом агрегате, то можно было бы экономически обосновать подачу в домну рудного сырья с содержанием железа не 62-68%, а например 40-50%. Это позволило бы сократить стадийность процесса обогащения железной руды, снизить стоимость обогащения, сократить потери железа с отходами обогащения до 20-50 тонн на 1000 тонн руды.

Описанные изменения в продукции обогащения ГОК-ов невозможны в рамках доменной металлургии, но являются задачами которые реализуются в «новой металлургии».

Перед Владельцами ГОК-ов, как перед Владельцами месторождений первичного жрд. сырья, стоит задача не только техперевооружения и наращивания выпуска традиционной продукции – жрд. концентратов, окатышей, агломерата для «кормления» доменной печи.

Владельцы ГОК-ов используя в рамках своих концернов процессы «новой металлургии» могут повысить капитализацию предприятия, повысить эффективность, снизить издержки и отходы обогащения. Значительно выгоднее получать из «своего концентрата» сталь, чем продавать этот концентрат или окатыши на сторону, поддерживая доменный передел, ведущий к получению чугуна и удлиняющий металлургический цикл.

Главная ошибка при обогащении железной руды

Работа ГОК-ов Черной металлургии по поставкам сырья в угоду единственному потребителю – «Доменной металлургии» характеризуется следующими показателями.

Вход: Содержание железа в руде – 35%. На 1000 тонн руды ГОК получает 350 тонн железа.

Выход: Содержание железа в концентрате – 68%.

Производительность по концентрату 300 тонн на 1000 тонн руды.

В концентрате 204 тонны железа. Коэффициент извлечения железа 58,3%.

Отходом является мелкий промпродукт 0-50 микрон, с содержанием железа около 35%.

В отходы уходит около 150 тонн железа из 1000 тонн первичной руды. Так образуются техногенные месторождения для будущего производства.

Дополнительные потери: на обогащение подается в основном руда, которая разделяется магнитными методами. Окисленные руды, тяжело обогащаемые магнитной сепарацией, не идут на обогащение и оставляются в карьерах или идут в отходы. Это увеличивает количество потерь железа ещё примерно на **треть**. Коэффициент извлечения железа составляет в реальности 45-40%, с учетом всех руд, находящихся в карьере. Это совершенно недопустимые показатели, например для цветной металлургии, для современных процессов в химических технологиях.

Технологический абразивный износ оборудования в процессах измельчения-помола-обогащения-окомкования железной руды характеризуется, как максимальный из всех отраслей промышленности. Общие расходы на поддержание оборудования в работе (молотные тела, броня мельниц, изнашиваемые узлы окомкования и тп.) при измельчении железной руды и последующих операциях обогащения и окускования составляет 25% и более от стоимости выпускаемого продукта. В этой части ГОКи работают сами на себя – чтобы продолжать своё существование.

Почему все так происходит?

В большой мере по причине того, что руды Черной металлургии, например железистые кварциты, имеют очень высокую прочность, а «вскрытие» железосодержащего зерна выполняется механическими методами. Помол до размеров 30-50 микрон выполняется на



шаровых мельницах, без использования селективного измельчения с разрушением по линиям контакта между пустой породой и полезным целевым минералом.

Новые направления: использование роллер-прессов, среднеходовых валковых мельниц, коротких схем обогащения, сухого обогащения многие годы активно исследуются.

Есть первые обнадеживающие сигналы при попытке сочетания мокрой и сухой схемы – Стойленский ГОК. Это повышает выход на 12-15%, снижает потери. Однако, высокая кратность рецикла (повторной подачи руды на помол) равная 300-400, и высокий абразивный износ, показывают, что революционных прорывов не будет. До чисто сухой схемы обогащения железной руды по-прежнему далеко.

Написанное выше не просто нытьё о том, что все плохо.

Посмотрим на ГОКи со стороны. ГОК-и занимаются **разрывом высокопрочных связей** в минералах **механическим путём**, например накапливая разрушающие напряжения в куске руды, многократными ударами молотковых шаров, каждый из которых по-отдельности слабее, чем связи в минералах.

Нужно ли так вести процессы? Обязательно ли это? Нет, не обязательно. Не обязательно затратно дробить всю руду в порошок вскрывая зерно, терять при этом 50-55% металла, находящегося в карьере, а потом не менее затратно заниматься окускованием полученного тонко измельченного железорудного концентрата.

Альтернатива - термические методы обогащения с выводом 85 - 95% металла в товарный продукт. **Термические методы обогащения** позволяют выполнять разрывы связей в железосодержащей руде универсальным приёмом – высокотемпературным нагревом и восстановлением, например плавкой и восстановлением в среде жидкого шлака. При этом «вскрытие» железосодержащего зерна выполняется за **ОДИН РАЗ**, не нужно 300-400 раз возвращать руду на измельчение и устраивать многостадийное обогащение.

Термические методы универсальны, не зависят от типа руды (магнетитовая, гематитовая), не зависят от размера зерна, не требуют тонкого помола руды.

В печах процесса ISASMELT концентраты меди, подаваемые на плавку и восстановление имеют содержание целевого металла около 35%, как у железной руды поступающей на вход ГОК-ов. Современные печи **ISASMELT** напоминают по конструкции продвинутый кислородный конвертер, при увеличении подачи кислорода подходят для плавки-восстановления железной руды, или концентрата без окомкования. Восстановитель – уголь обычных сортов, не коксующийся. Мы вплотную подошли к понятию – **«Новая металлургия»**, которая оказывается интересна не только металлургам, но может решить проблемы обогащения железной руды, по сути являясь самостоятельным методом обогащения.

5. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. Что строят европейцы, американцы, китайцы?

Какие новые технологии получения металла готовы к реализации?

Чем технологии «новой металлургии» помогут ГОК-ам?

Тут нужно вернуться назад перед тем как двигаться вперёд.

Выше было сказано много плохого о доменном процессе. По справедливости, нужно указать на серьёзнейшие положительные стороны доменного процесса, которые, в исторической ретроспективе, способствовали его распространению:

Преимущество 1: Поступление большого количества тепла с горячим дутьем при 1200 °С.

Преимущество 2: Утилизация тепла отходящих газов за счет их теплообмена с шихтой в противотоке. Газы покидают горн, например, с температурой 1500 °С, но к колошнику охлаждаются до 200 °С и уносят из печи немного тепла.

Следуя проф. Павлову В.В. - краткая формула хорошего агрегата для получения металла: **«Устранение отмеченных выше пяти Пороков домы при сохранении двух названных Преимуществ»**. При этом основные из пороков: необходимость использования смеси окускованного рудного сырья и кускового кокса.



Интересно отметить, что в мире все разработки «новой металлургии» последние 40-50 лет выполняются в общем то «по формуле Павлова», хотя разработчики не читали работы Павлова, а сам Валерий Васильевич не имел информации о большей части современных разработок. Такова сила проникающей способности интеллекта этого русского человека.

Примерно после 20-30 лет интенсивных разработок «новой металлургии» в 2000 году государственное бюро США - Advanced Manufacturing Office - technology development office within the U.S. Government выпустило аналитический обзор всех разработок - DRI (Direct Reduction Iron – прямое восстановление железа):

Ironmaking Process Alternatives Screening Study Volume I: Summary Report, October 2000.

В обзоре подробно анализировались процессы, схемы, технические показатели, стоимости инвестиций CAPEX, операционные затраты OPEX и тп.

Американцы выполнили анализ 25 основных разработок доведённых к 2000 году минимум до стадии «демонстрационная», а в максимуме – до стадии «коммерческое использование».

Таблица 4: Состояние разработок прямого восстановления железа в 2000 году
Processes Considered in Initial Screening

TYPE SHAFT FURNACE	STATE OF DEVELOPMENT
• Blast Furnace	Proven Commercial
• Corex	Proven Commercial
• Midrex	Proven Commercial
• Hylsa (HYLIII, HYLIVM, etc.)	Proven Commercial
• Tecored ROTARY KILN	Pilot Scale
• SL/RN ROTARY HEARTH	Proven Commercial
• Redsmelt	Semi-Commercial
• Fastmet/Fastmelt	Pilot Scale
• Itmk3	Pilot Scale
• Inmetco	Semi-Commercial
• Iron Dynamics	Semi-Commercial
• MauMee FLUIDIZED BED	Semi-Commercial
• Finmet	Semi-Commercial
• Circored	Semi-Commercial
• Circofer	Semi-Pilot Component
• Nucor/ICH (Single-Stage IC)	Demonstration
• Qualitech/Kawasaki (Two-Stage IC)	Demonstration
• Procedyne (Multi-stage IC) OTHER (REACTOR ETC.)	Semi-Pilot Component
• Hismelt	Pilot Scale
• Dios	Pilot Scale



• Romelt	Pilot Scale
• Gridsmelter	Semi-Pilot Component
• Comet	Semi-Pilot Component
• PlasmaRed	Semi-Pilot Component
• AISI/Cyclone	Pilot Scale

В 2000 году, да и сейчас, по числу коммерческих установок на первом месте находился процесс **Midrex**, реализованный, например, на Ново-Оскольском МК на основе поставки немецкой технологии и комплектного оборудования. Однако процесс **Midrex** не подходил под «формулу Павлова» - использовалось окучкованное сырьё – окатыши, кроме того использовался дорогой природный газ, а не уголь. Продуктом процесса **Midrex** являются металлизированные окатыши с содержанием железа 90-94%.

После экономического кризиса 70-х годов цены на природный газ значительно выросли и эйфория по поводу сокрушения «доменного монстра» процессом **Midrex** рассеялась.

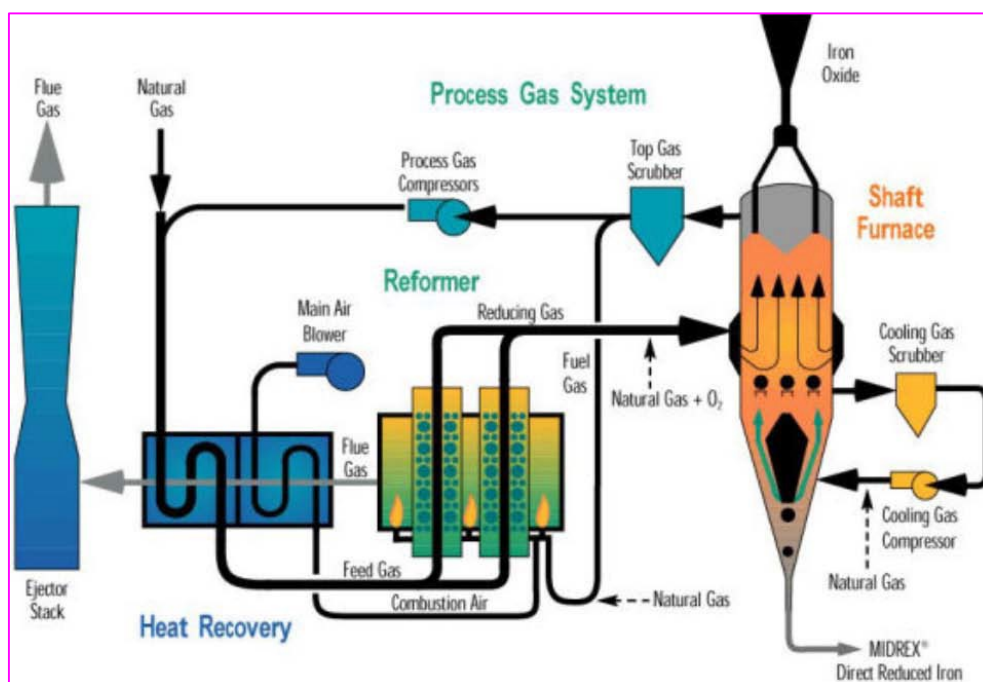


Рис 4. Технологическая схема прямого восстановления железа процессом **Midrex**

Серьёзнейшим «звонком» является строительство в 2008 году завода по процессу **Sarx** крупнейшими немецкими и австрийскими производителями стали SIMAG и Voestalpine. Процесс **Sarx**, как и процесс **Midrex** не подходил под «формулу Павлова» - используется окучкованное сырьё – окатыши, но использовался высокотемпературный ректор конвертерного типа и простой дешёвый уголь, а не кокс и не природный газ. К 2012 году процесс **Sarx** был полностью обкатан в Австрии в промышленных условиях и подтвердил экономическую целесообразность прямого получения железа таким путём. Продуктом процесса **Sarx** является жидкий металл, передаваемый в дуговые сталеплавильные печи.

Продукты процессов **Sarx** и **Midrex** могут отдельно или совместно подаваться в электросталеплавильные печи.

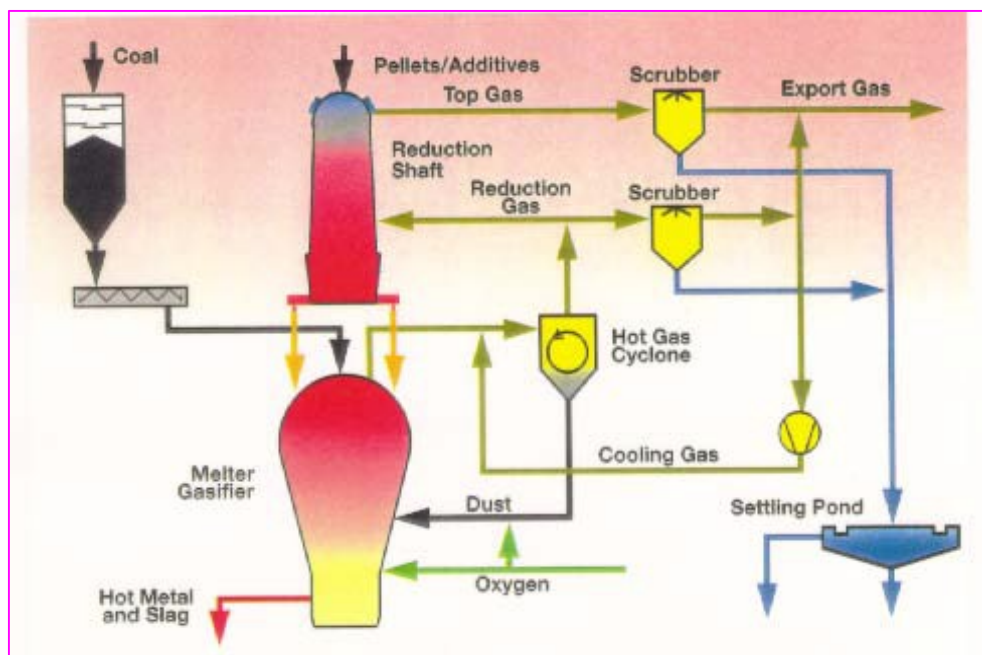
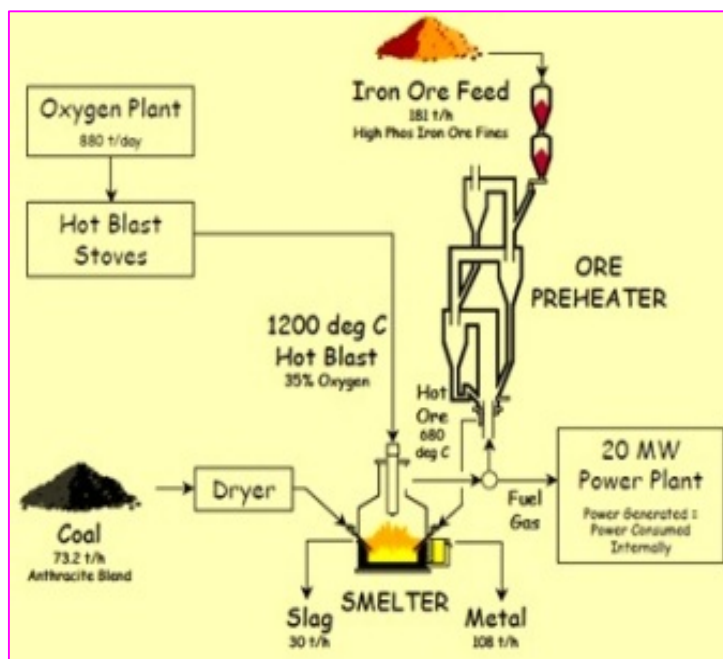


Рис 5. Технологическая схема прямого восстановления железа процессом CapeX

Процесс **Hismelt** использует циклонные теплообменники, взятые из современной цементной промышленности, для подогрева порошкообразного рудного сырья перед загрузкой в печь. В принципе возможна глубокая металлизация порошкообразного сырья в циклонных теплообменниках и использование металлизированного порошка отдельно, без его плавления.

В материалах американского Анализа в 2000 году было показано, что это один из наиболее экономичных процессов по показателям удельной стоимости инвестиций CAPEX, затрат OPEX - операционных затрат на тонну металла

После многолетней отработки технологии **Hismelt** владельцем технологии фирмой **Rio Tinto**,



завод в Kwinana в Западной Австралии был продан в 2011 году китайцам и перевезён в Китай, китайцы продолжают интенсивную доработку этого процесса.

Процесс **Hismelt** полностью подходит под «формулу Павлова»: используется мелкий уголь, используется мелкий неокислованный железорудный концентрат, подогреваемый перед печью отходящими газами, используется горячее дутьё, топливо и рудное сырьё не смешиваются перед высокотемпературным реактором. Продуктом является железо прямого восстановления, чугун.

Рис 6. Технологическая схема прямого восстановления железа процессом Hismelt



Полезным побочным продуктом процесса **Hismelt** являются высококалорийные горючие газы, подаваемые в котельные установки для получения пара и электроэнергии.

Процесс Hisarna разрабатывается с 2007 голландским концерном Tata Steel, концернами Rio Tinto, ThyssenKrupp, ArcelorMittal, Voestalpine, SMS Group, Paul Wurth как часть проекта ULCOS (Ультра низкое по выбросам CO₂ производство стали). К участию привлечены 40 исследовательских институтов, университетов и технологических фирм из 15 европейских стран, привлечено финансирование Европейского союза.

Высокотемпературный реактор конвертерного типа повторяет реактор процесса Hismelt, до конца конусного сужения свода. Далее установлен блок циклонной кислородной плавки и восстановления порошкообразного рудного сырья.

Блок циклонной кислородной плавки разрабатывался уже в 90-х годах, но не было подходящего агрегата, для его «посадки». Циклонный конвертерный реактор в целом обеспечивает температуры выше 1538 °С. Это позволяет преобразовывать руду напрямую в сырое железо. Руда плавится на стенках циклона и каплями стекает в полость реактора. В этом месте подается порошкообразный уголь, кислород из окислов железа соединяется с углеродом и получается жидкая сталь. Процесс **Hisarna** снижает выбросы, позволяет отказаться от кокса, окомкования железа, даже от обогащения железа. Этапы разработки и достижения процесса:

2011 CAMPAIGN A – реализация нового процесса

- первый горячий металл (Май 2011)

2012 CAMPAIGN B – первый длительный период работы

- использование стандартных сырьевых материалов

- достигнут 80% уровень производительности

2013 CAMPAIGN C – использование котельного угля (23% летучих)

- **использование низкокачественной руды (< 30% Fe)**

- первый горячий металл передан на прокатный стан

- достигнута хорошая управляемость процессом

- достигнута номинальная производительность

2014 CAMPAIGN D – 30% горячего металла составляет сталь

- использование котельного угля с высоким содержанием летучих (39% VM)

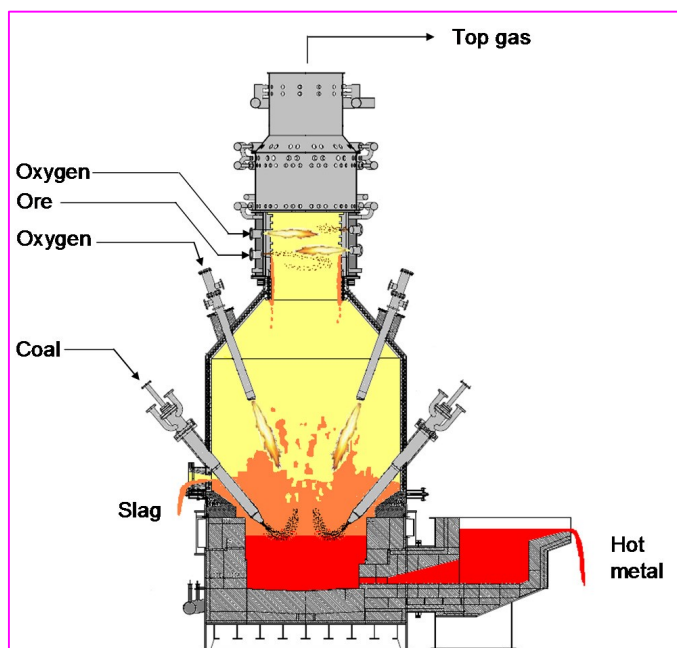
- использование отходов с высоким содержанием Zn

- **использование совместно лома и руды**

- достигнут номинальный уровень использования угля

2015-2017 – капитальная реконструкция завода (€25 million инвестиций)

2017 CAMPAIGN E – старт промышленного тестирования (Sept. 2017)



Процесс **Hisarna** полностью подходит под «формулу Павлова» и обеспечивает многое дополнительно: работу на дешевых углях, использование необогащённой бедной руды, совместное использование руды и лома, снижение выбросов диоксида углерода, оксидов серы и окислов азота на 80-90%.

Рис 7. Технологическая схема циклонного конвертерного реактора прямого восстановления железа процесса Hisarna, в котором за **ОДИН РАЗ** выполняется **термическое обогащение** железной руды.



Все три процесса **Capex, Hismelt и Hisarna** доказали к концу 2017 года свою экономическую эффективность, два из них соответствуют «формуле Павлова» - не используют ни кокс, ни окискованное рудное сырьё, используют дешевый уголь, горячее дутьё или кислород. Процесс **Hisarna** позволяет работать даже на измельченной в порошок 0-6 мм железной руде, без обогащения.

Все три процесса **Capex, Hismelt и Hisarna**, как и процессы типа **ISMELT**, используют близкие по идеологии высокотемпературные реакторы конвертерного типа с фурмами для подачи кислорода, горячего дутья, порошкообразного рудного сырья и порошкообразного угля. Возможно частичное использование кускового металлолома. Продуктом плавки является сырое железо, чугун, или сталь, пригодная в ряде случаев для установок проката, без дополнительных переделов. Доменного и коксового газа нет, высококалорийный газ дожигается полностью, химическая энергия топлива используется полностью, обеспечивая дополнительно получение энергии в виде пара или электроэнергии, обеспечивающей с избытком завод прямого получения железа.

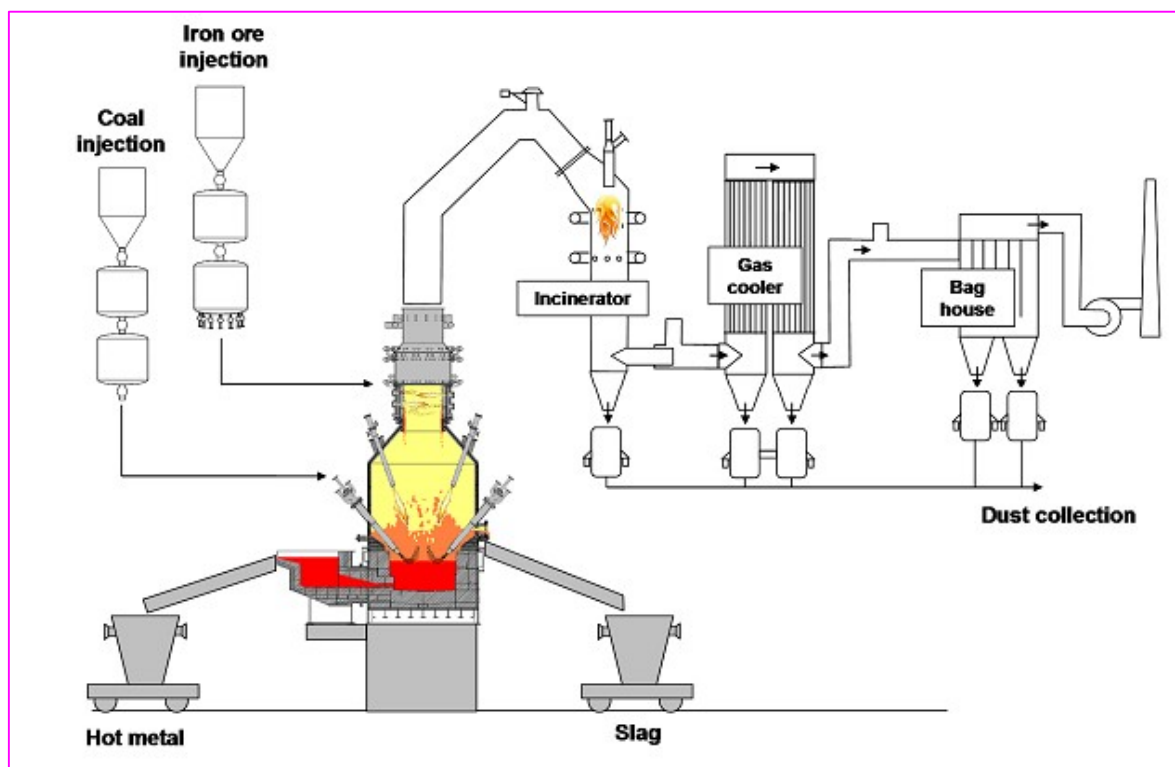


Рис 8. Технологическая схема прямого восстановления железа процессом Hisarna, повторяет основные черты плавки в ISASMELT печи.

ПЕРЕРАБОТКА железной руды в сырое железо, чугун, сталь

Процессы **Hismelt и Hisarna** позволяют Владельцам ГОК-ов получить сырое железо, чугун или сталь напрямую из железной руды. Перед подачей на прямое восстановление нужно измельчить железную руду до размеров частиц 0-6 мм.

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ Обогащения железной руды в сырое железо, чугун, сталь

Процессы **Hismelt и Hisarna** позволяют Владельцам ГОК-ов получить сырое железо, чугун или сталь напрямую при переработке техногенных месторождений железа – отходов Обогащения с содержанием железа в среднем 30-35%. Отходы Обогащения состоят из частиц размером 0-70 микрон. Перед подачей на прямое восстановление не требуется их измельчение, нужно только высушить отходы до влажности 0,5-1 %.

Прямое восстановление железа из отходов Обогащения **экономически выгоднее** чем подача



первичной железной руды на прямое восстановление, так как в этом случае не требуется высокзатратный процесс измельчения первичной железной руды.

6. ROI? Как быстро окупятся инвестиции? Нужно ли направлять инвестиции в новые технологии получения металла?

«Доменная печь» - это в настоящее время высокотехнологичный агрегат, с высокими техническими показателями, прежде всего производительностью. Развитие этого агрегата за последние 200 лет происходило (в рамках порочного принципа) несколько «эгоистично» - высокие технологические показатели достигались за счет повышения издержек на **предшествующих сырьевых переделах:**

- производство специального кокса из угля,
- получение окучкованного сырья из порошкового рудного концентрата
- снижения коэффициента извлечения при обогащении до недопустимого уровня – менее 50%, а также **создания дополнительных переделов чугуна после домны:**
- кислородно-конверторный цех и тд, по сути самостоятельного сталеплавильного производства.

Таблица 1 на стр. 3 показывает по американским цифрам 2000 года основные затраты на процессы доменной металлургии с суммарными затратами около 320 долл / на тонну жидкой стали. Снижением расхода кокса, замены его вдуванием угольной пыли, привело к снижению суммарных затрат до уровня около 300 долл/тонну жидкой стали.

Таблица 5. Общие оперативные затраты OPEX при использовании ЖПВ

Варианты производства жидкой стали	Получение железа ЖПВ, \$ / тонна жидкой стали	Поставка железного лома, \$/т жидкой стали	Электроплавка, \$/т жидкой стали	Рафинир. Жидкого металла, \$/т жидкой стали	Стоимость жидкой стали, \$/т жидкой стали
1. 100% загрузка ЖПВ в Доменную печь + электроплавка и рафинирование					
100% загрузка кускового ЖПВ в доменную печь с получением 1% С в стали после электроплавки	138,4		60,17	6,82	205,39
2. 100% загрузка в электропечь железного лома по цене:					
100 долл/т		102,8	67,21	6,82	176,83
140 долл/т		143,92	67,21	6,82	217,95
150 долл/т		154,2	67,21	6,82	228,23
190 долл/т		195,32	67,21	6,82	269,35
3. Смешанная загрузка электропечи 32,7 % горячего металла от Hismelt + железный лом по цене:					
100 долл/т	49,42	81,3	52,06	8,31	190,82
140 долл/т	49,42	103,13	52,06	8,31	212,92
150 долл/т	49,42	110,50	52,06	8,31	220,29
190 долл/т	49,42	139,96	52,06	8,31	249,75
4. Смешанная загрузка электропечи горячим металлом и металлизированными окатышами					



	Загрузка в электропечь 60%COREX горячий металл +	117,00		49,51	6,82	218,16
	40%металлизированных окатышей MIDREX	44,84				
5	100% загрузка электропечи от Hismelt на ГОК-е замещая часть обогащения и окомкование					
	Hismelt при загрузке 100 % горячего металла ЖПВ при работе на концентрате	151,13		52,06	8,31	211,50
	Hismelt при загрузке 100 % горячего металла ЖПВ при работе на тонкой руде	145,17		52,06	8,31	205,54

Соотношение оперативных затрат OPEX при получении и жидкой стали в «доменной металлургии» = 300-320 долл/тонна
 100% загрузки железного лома в электропечь = 220-230 долл/ тонна
 100% загрузка горячего металла от Hismelt в электропечь =205-210 долл/тонна.

«Новая металлургия» на ГОК-е позволяет получить жидкую сталь в 1,5 раз дешевле, чем в «доменной металлургии». Однако «доменная металлургия» может получать кусковое ЖПВ в качестве рудного сырья, что (см. пункт 1 Таблицы 2) позволяет получить дешёвую сталь «интегрирав» ЖПВ в старую консервативную технологию.

Таблица 6. Капитальные - CAPEX, оперативные – OPEX затраты и индекс доходности (Internal Rate of Return) для различных вариантов получения жидкой стали.

Basis: \$140/mt of Steel Scrap

VARIABLES FOR RANKING OF IRONMAKING PROCESSES - RESEQUENCED

SEQ. NO.	PROCESS	CAPEX (\$/ANN. mt L.S.)	OPEX FOR I.U. (\$/ANN. mt I.U.)	OPEX FOR L.S. (\$/ANN. mt L.S.)	INTERNAL RATE OF RETURN	TOTAL ELEC. (kWhr/mt LS)	PROCESS CO2 (mt/mt LS)	TOTAL CO2 (mt/mt LS)
1	100% DRI, 1.0% C, MIDREX	\$365.36	\$132.44	\$205.39	10.57%	1,326.73	1.0514	2.2617
2	100% STEEL SCRAP	\$173.68	\$0.00	\$217.95	17.75%	822.45	0.0874	0.8909
3	30% DRI, 1.0% C/70% SCRAP	\$231.85	\$137.51	\$218.09	12.45%	1,030.37	0.4283	1.3681
4	HYLSA IVM	\$362.60	\$125.52	\$196.15	13.72%	1,267.37	0.9086	2.0646
5	30% BF H.M./70% SCRAP CP COKE	\$243.64	\$142.86	\$219.12	11.14%	795.44	0.8974	1.6746
6	30% MINI-BF H.M.*	\$198.05	\$142.86	\$219.12	14.56%	795.44	0.8974	1.6746
7	30% BF H.M./70% SCRAP NR COKE	\$243.63	\$110.77	\$207.70	16.55%	660.35	0.9594	1.5615
8	30% COLD PIG IRON/70% SCRAP	\$248.06	\$145.12	\$227.52	6.48%	1002.39	0.9027	1.8170
9	30% TECNORED H.M. W COGEN	\$196.48	\$125.95	\$207.14	21.36%	307.58	1.1545	1.4350
10	30% TECNORED H.M. W/O COGEN	\$187.71	\$163.09	\$220.45	14.74%	685.69	1.1545	1.7799
11	COREX/MIDREX WITH 60% H.M.	\$373.50	\$161.83	\$218.17	5.72%	942.91	2.9239	3.7839
12	HISMELT 32.7% H.M.	\$259.63	\$137.85	\$212.92	13.05%	847.37	0.8689	1.6418
13	REDSMELT	\$334.67	\$101.83	\$193.03	16.17%	690.28	1.3624	1.9921
14	MAUMEE BRIQUETTE DRI/ EAF	\$292.32	\$66.44	\$177.03	24.66%	966.09	1.1498	2.0310
15	ПМК3 DR SHOT TO EAF	\$296.10	\$67.60	\$183.48	22.05%	825.40	1.5213	2.2742
16	CIRCORED/HBI/EAF	\$232.37	\$78.79	\$185.27	27.64%	900.84	1.1999	2.0217
17	CIRCOFER/HBI/SAF/EAF	\$239.63	\$96.20	\$188.55	25.37%	780.99	1.6404	2.3528
18	FINMET/HBI/EAF	\$263.47	\$79.42	\$185.12	24.31%	907.76	1.0742	1.9022
19	GENERIC IRON CARBIDE (100%)/EAF	\$347.59	\$66.19	\$177.84	20.24%	972.95	1.2864	2.1738
20	GENERIC I.C. (40%)/SAF/EAF*	\$257.24	\$100.79	\$205.40	16.52%	1185.22	1.3320	2.0648
21	SL/RN ROTARY KILN	\$344.39	\$74.08	\$185.46	18.06%	999.74	2.2869	3.1988

Себестоимость железа прямого восстановления (ЖПВ) составляет 110 -140 долл/тонна в зависимости от технологии и стоимости используемого сырья (руда / концентрат).



ОРЕХ отдельно по переделу получения ЖПВ составляет 50-70 долл/тонна горячего металла.

САРЕХ для цепочки от карьера + **Hismelt или Hisarna** + электроплавка+рафинирование составляет 200-300 долл / за тонну годовой мощности по жидкой стали.

Меньшая цифра – оборудование Китай/Россия, верхняя цифра – оборудование Европа/США.

Стоимость завода на 1.000.000 тонн горячего металла в год = 200-300 млн. долл.

Окупаемость завода 1,5 -2,5 года.

Железо прямого восстановления (ЖПВ = DRI) используется почти исключительно в электрометаллургии как источник железа при производстве стали. Это прямой и очень серьезный конкурент металлостали и чугуна. Интересной особенностью ЖПВ является то, что развитие производства ЖПВ неразрывно связано с развитием электросталеплавильного производства. Среднегодовой темп развития производства ЖПВ около 9%, как и электростали.

Трудно представить себе сценарий, когда металлургические концерны, базирующиеся на «доменной металлургии» сами начнут выводить доменные печи из работы. Пока в мире наблюдается скорее **«предварительный сценарий» - новые доменные печи строятся редко, а количество строящихся печей «новой металлургии» постоянно возрастает.** Это почти полностью повторяет **Пример 1** - с монстрообразными, прожорливыми по топливу и плохо управляемыми печами мокрого способа производства цемента.

Металлургические заводы, базирующиеся на «новой металлургии», интегрированной в производственный цикл горно-обогатительного предприятия, выгодны прежде всего для Владельцев сырья – Владельцев ГОК-ов.

Замена на ГОК-ах традиционного производственного цикла:

А. Карьерная/шахтная добыча+крупное+среднее+тонкое измельчение+помол+обогащение +окомкование;

на технологию с использованием термического обогащения методами «новой металлургии»:

Б. Карьерная/шахтная добыча+крупное+среднее+тонкое измельчение+ Новый блок:

+термическое обогащение с получением ЖПВ+электроплавка+рафинирование

обеспечивает ГОК-ам увеличение стоимости конечной продукции минимум в два раза, при одновременном сокращении производственных затрат. Для Владельцев ГОК-ов при инвестициях в «новую металлургию» конкурентная ситуация значительно более выгодна, чем для «чистых» металлургов, по причине дополнительного снижения издержек в процессах обогащения.

Удельные оперативные затраты при получения ЖПВ равны 50 -70 долл/тонна, что в среднем практически равно затратам при получении железорудного концентрата - 64 долл/тонн жидкой стали. Реальна возможность отказаться от многоступенчатого обогащения руды, процесса окомкования, начать высокоэффективную переработку многолетних техногенных месторождений – отходов обогащения с содержанием железа 30-35%.

Для Владельцев ГОК-ов выгоднее строить новые заводы с получением ЖПВ из своего сырья + электроплавка и рафинирование до получения жидкой стали + прокат, чем инвестировать в новый ГОК для получения сырья для «доменной металлургии».

Разумно рядом с месторождением руды строить **металлургические мини-заводы** с получением изделий из стали, используя не только лом, но и первичную железную руду после грубого помола. В этом случае ГОК-и могут использовать конкурентные преимущества металлургических мини-заводов, интегрированных в сырьевую производственную структуру.

Таблица 6 ниже содержит «общие» показатели металлургических мини-заводов, без привязки их к технологиям «новой металлургии» и ГОК-ам черной металлургии, также без учета снижения издержек на основных переделах традиционных ГОК-ов, производящих сырьё для единственного потребителя – доменной печи.



Таблица. 6. Ключевые отличия мини-завода электроплавки от металлургических гигантов (Источник: А. Смирнов "Металлургические мини-заводы", 2005)

Характеристики	Металлургический комбинат	Мини- и микро-заводы
Сырье	Руда, уголь	Стальной лом, губчатое железо
Технологическая цепочка	Сырье - чугун - сталь	Сырьё - сталь
Мощность	Более 3 млн т в год с тенденцией к увеличению	0,1 - 1 млн т в год с тенденцией к уменьшению
Привязка к местности	Нет	Вблизи сырья и/или потребителя
Продукция	- Широкий сортамент - Уникальные свойства и высокая добавленная стоимость	- Узкий сортамент - Рядовой сортамент и качество
Клиенты	- Крупные потребители - Большие партии - Долгосрочные контракты - Чувствительные к качеству и потребительским свойствам	- Мелкие потребители - маленькие партии - Разовые поставки - Чувствительные к цене
Инвестиции	- В долгосрочные проекты - В уникальные свойства продукции - В увеличение локальной мощности - В глобальные альянсы - В экологичность	- В краткосрочные проекты - В снижение издержек - В увеличение мощности за счет расширения сети мини-заводов - В современные компактные, ресурсосберегающие технологии
Стоимость оборудования за тонну мощности (окупаемость)	\$650 - 1000 (более 10 лет)	\$200 - 600 (2 - 5 лет)
Численность персонала	10 - 40 тыс.	0,1 - 1 тыс.
Вертикаль власти	6 - 8 уровней управления	3 - 4 уровня управления
Персонал	Профессионалы	Базовые знания
Направленность труда	Интеллектуальная (разработка и выпуск уникальной продукции)	Интенсификация (максимальная удельная выработка и снижение производственных затрат)
Производительность, человеко-часов на тонну продукции	4 - 12	0,5 - 2
Стратегия	Лидерство по инновационной продукции - новая сталь	Лидерство по издержкам - доступная сталь
Рынок и конкуренция	Глобальный	Локальный

Как будут выглядеть ГОК-и, коксовые заводы и металлургические комбинаты в недалёком будущем?

Они будут выглядеть - частично уже выглядят, не очень привычно, например:

- ГОК: участок дробления и измельчения до 0-6 мм сохранится; **мелкий помол – исчезнет;**
- ГОК: участок обогащения сократится до первой ступени, **следующие ступени – исчезнут,** все продукты обогащения будут направляться на восстановление и плавку в виде сухих порошков 0-6 мм;
- ГОК: **участок окомкования, получения агломератов, окатышей – исчезнет;**
- МетКомбинат: **Коксовые заводы – исчезнут;**
- МетКомбинат: **Доменные печи – исчезнут;**



- МетКомбинат: ТЭС и другие потребители газообразного топлива, работающие сейчас на смеси коксового и доменного газов, **будут переведены на уголь.**

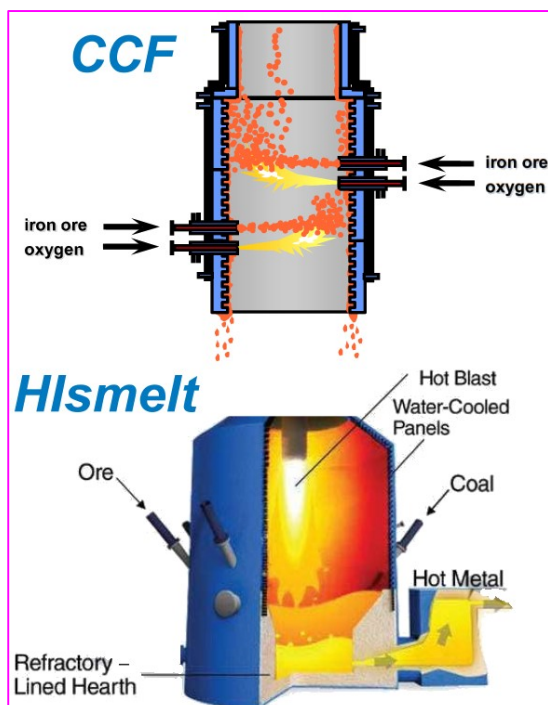
Места достаточно на территории сегодняшних ГОК-ов. Производственные площади, нужные для «новой металлургии» в 10-20 раз меньше, чем занимаемые «доменной металлургией». Оборудование, строительные конструкции цехов, выводимых из работы, будут демонтированы и переплавлены в печах «новой металлургии», которые могут работать как на порошковой первичной руде, так и на ломе.

Когда это произойдёт? В 2012-2017 годах закончены работы по коммерческому опробованию основных процессов «новой металлургии» **Capex, Hismelt, Hisarna**. Предположительно в период после 2030 года новые заводы начнут определять цену на сталь. «Доменная металлургия» не может конкурировать с предприятиями выпускающими сталь с себестоимостью в 1,5-2 раза ниже чем по традиционному циклу.

БУДУЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ «новой металлургии»

Технологии прямого получения железа ЖПВ интенсивно развиваются, в их развитие вкладывают серьёзные средства и подключены серьёзные интеллектуальные ресурсы. Развитие идёт по пути **повышения интенсивности процессов, использования кислорода, снижения издержек и капитальных затрат.**

Характерным примером является история процесса **Hisarna**, разработанного консорциумом европейских фирм, институтов в рамках европейской программы ULCOS (Ультра низкое по выбросам CO2 производство стали). Высокотемпературный реактор **Hisarna** взят из процесса **Hismelt** (ISASMELT) с добавлением разработанной ранее циклонной плавки руды 0-6 мм в тангенциальном потоке кислорода.



Процесс восстановления в высоко-температурном кислородном циклоне значительно более интенсивен и требует меньше места, чем нагрев и восстановление в многоступенчатом циклонном теплообменнике, который **Hismelt** переняла из сухого способа получения цемента.

Рис 9. Создание высокотемпературного реактора прямого восстановления Hisarna

Владелец и разработчик процесса **Hismelt** концерн Rio Tinto подключился к разработке нового и более интенсивного процесса **Hisarna** сразу после продажи китайцам своей технологии **Hismelt**.

Фирма **Outotec** предлагает современные печи прямого получения железа и печи для цветной металлургии на основе технологии **Ausmelt** и технологии кислородно-факельной плавки.

В печах восстановительной плавки металлов типа **Hismelt, Ausmelt** интенсивность процессов прямого получением металла более чем в три раза превышает показатели «доменного процесса».

Высокотемпературные процессы прямого восстановления железа под давлением является перспективным этапом повышения интенсивности и снижения стоимости процессов



новой металлургии. В этом направлении немецким технологам и машиностроителям не придется начинать с нуля.

Имеется большой практический опыт ведения высокотемпературных процессов газификации угля под давлением **10-40 бар** (технологии Лурги, Сименса и др.), где решены вопросы охлаждения реактора, шлюзовой подачи сырьевых материалов в зону высоких температур, шлюзовый вывод шлака и металла и тп. Эти технические решения, со временем, будут использованы в будущих технологиях прямого восстановления железа.

Что делать? – Перестать строить ГОК-и с технологиями середины прошлого века. Технологии совмещения обогащения и металлургии прямого восстановления железа (ODDRI) дают наибольший эффект при техническом перевооружении ГОК-ов. Какое всё это имеет отношение к нашей фирме?

Достижения «новой металлургии» не содержат в себе машиностроительных чудес, не основаны на оборудовании для которого нужны специальные супер-материалы и тп. Все может быть изготовлено на обычном заводе, выпускающем оборудование для металлургической промышленности.

Достижения «новой металлургии» - это прежде всего технологические знания, во многом отработанные в последние 10 лет на основе пилотных, затем опытно-промышленных установок.

Современные разработки ведутся на основе использования CFD методов – численного компьютерного моделирования металлургических высокотемпературных процессов, что значительно ускоряет разработки, снижая при этом расходы. CFD методы позволяют рассчитать процессы, варианты процессов, выбрать оптимальный вариант с точностью до 10%, не выполняя строительство нового завода, не выполняя многолетнюю модернизацию нового завода для получения работоспособного и экономически эффективного процесса.

Основные работы инженерного бюро FTT охватывают, или, по крайней мере, касаются технологий, описанных выше:

- процессы горения в промышленных агрегатах
- сушка и спекание концентратов руд металлов и других промпродуктов
- приготовление цемента сухим способом
- нагрев порошковых материалов в многоступенчатых теплообменниках,
- восстановительные процессы в газовой фазе
- приготовление и сжигание угольной пыли
- пневмотранспорт угольной пыли и порошкообразного рудного сырья
- утилизация тепла высокотемпературных газов
- процессы восстановления металлов при барботаже металлургических шлаков
- численное моделирование процессов типа Ромелт (ПЖВ, ШВУ), Ausmelt, Isasmelt, во многом повторяющие процессы в реакторах Capex, Hismelt, Hisarna
- выполнение ТЭО, с расчётами CAPEX, OPEX, окупаемости для наших базовых инженерных проектов.

Указанная тематика работ позволяет ответить на вопросы обозначенные в названии обзора, выполнить в кооперации работы по современному техническому перевооружению ГОК-ов.

Благодарю Вас за внимание.

Мы с готовностью ответим на Ваши вопросы.

Dr.-Ing. W.Garber

Ing.-Büro FTT - Feuerungs- und Trocknungstechnologien

www.ftt-ing.de Email: info@ftt-ing.de Mobil: +49 (0)163 72 55 806