

## 68. Диктатура доменной печи

В 2018 году я приехал в Кривой Рог, в родной город президента Зеленского, который тогда еще не был президентом Украины. Мы с Зеленским и ранее пересекались – когда он с родителями в Монголии жил, а я там работал. Но оба не подозревали об этом.

Была конференция под эгидой Академии Горных Наук. Академия размещалась в «двушке». В обычном облезлом некрашенном подъезде. Таким был и интерьер внутреннего убранства. Председателем Академии, или может быть Президентом оказался красивый подтянутый мужчина с модной причёской. Должен очень нравиться женщинам.

Кривой Рог – центр черной металлургии Украины и центр обогащения железной руды. На конференции я не езжу. Та поездка была одной из двух-трех за 40 лет. Поехал из-за встреч на заводах.

В отличие от помещений Академии горных наук, конференция проходила дорого и помпезно. Были видны совсем другие финансовые потоки, было множество высоко поставленных людей из науки, образования, директора заводов и т.д., начиная с мэра Кривого Рога. Из Европы нелегкая занесла только меня - был не в теме, не знал, что крупные концерны на уровне Владельцев принимали тогда решения не работать с предприятиями Украины.

Мэр начал конференцию на украинском, далее перешли на русский и практически не возвращались больше к государственному языку. Доктор наук - геолог с умными улыбающимися глазами, затронул проблему Крыма. Предложил компромисное решение – отходы обогащения железной руды скапливать не на материке, а ссыпать в Черное море. За 20 лет так можно насыпать (как в Дубае), новый полуостров, не уступающий Крыму по величине, и не будет больше споров с Россией. Это единственное, что мне запомнилось.

Внизу текла обычная тяжелая небогатая жизнь людей, питание было очень дешёвым, толстых людей в Кривом Рогу я не увидел, дети рождались.

К стыду своему, я даже не стал ухаживать за очень красивой женщиной, которая специально приехала с Палтавского ГОКа, которую сложно теперь забыть – такое качество встречается крайне редко. Она даже диссертацию писала.

В результате поездки в Кривой Рог я начал присматриваться к технологиям черной металлургии и был очень удивлен. Теперь Ваша очередь удивляться.

## Пороки базовой технологии получения стали

Основным устройством является доменная печь. Это расширяющаяся конусом вниз очень высокая бочка, обмурованная огнеупорным кирпичем. Это устройство, несмотря на солидный вид, крайне порочно.

О пороках пишет **В. В. Павлов в Книге «Несообразности металлургического цикла. Их устранение»**

**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 удаётся сжечь в основном лишь до  $\text{CO}$ , но не до  $\text{CO}_2$ .

$\text{MeO} + \text{CO} = \text{Me} + \text{CO}_2$ , реакции восстановления металлов.

$\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \Delta H_{298} = 395 \text{ кДж/моль}$ , полное сгорание

$\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$ , вследствие постоянного избытка углерода в шахте доменной печи

$\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO} + \Delta H_{298} = 110 \text{ кДж/моль}$ , 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 выносится 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, по сравнению с теплом от сжигания угля в энергетике.

Тепло горения угля в домне оплачивается, грубо говоря, в десятикратном размере.

Порок 3. Рудная компонента в домне, как и кокс, 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 производства окомкования рудных концентратов.

Порок 4. Смешивание окатышей/агломерата с избытком кокса приводит к тому, что после восстановления куски металла оказываются в топливной засыпке, и их плавление дает насыщенный углеродом чугун с содержанием углерода 3-4 % - сравнительно небольшое переуглероживание, перевосстановление металла. Для получения качественной стали требуется удалить из чугуна лишний углерод - выполнить сталеплавильный передел.

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

Порок 5. Движение вниз материалов в домне реализуется в режиме капризного и часто почти неуправляемого процесса.

Действуя снаружи цельного корпуса доменной печи большой мощности Доменщик не может быстро повлиять на соотношение горения и восстановления-плавления, выделения и поглощения тепла в горне. Регулирование процессов в горне (зоне плавления) требует изменять долю кокса в завалке, но этот кокс дойдет до горна лишь через 6-20 часов.

Процесс работы домны при новых параметрах считают достаточно установившимся не раньше, чем через 10 дней работы.

«Раздуть»-запустить домну в работу после ремонта и вывести ее на стационарный режим удается лишь за время порядка месяца.

Для сравнения - сталеплавильный агрегат, даже самый большой, переводят на новый режим работы за 10 минут.

Кислородный конвертер можно заполнить жидким металлом и вывести на стационарный режим продувки также за 10 минут.

### **Итог:**

Для работы одного аппарата – доменной печи требуется построить три специальных производства/завода:

- производство кокса;
- производство окатышей или агломерата из железорудного концентрата;
- производство стали из чугуна для удаления углерода.

При десятикратном увеличении стоимости топлива и плохой управляемости доменного процесса. Удивительно не правда ли? И это все в отрасли, которая формирует

максимальный в базовой промышленности финансовый поток.

Но это ещё не все. Объёмы потерь при обогащении железной руды ещё значительно, а процессы еще более затратны, чем в доменной металлургии.

### **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.

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 со 150 тонн до 20-50 тонн на 1000 тонн руды.

Перед Владельцами месторождений первичного жрд. сырья, стоит в основном задача наращивания выпуска традиционной продукции – жрд. концентратов, окатышей, агломерата для «кормления» доменной печи, как глобального потребителя.

### **Границы при обогащении железной руды**

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

Вход: Содержание железа в руде – 35%.

В 1000 тонн руды обогатительная фабрика 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% - как в первичной руде, но крепче связанного в пустой породе.

В отходы уходит около 150 тонн железа из 1000 тонн первичной руды.

Дополнительные потери: на обогащение подается в основном руда, которая разделяется магнитными методами. Окисленные руды, тяжело обогащаемые магнитной сепарацией, не идут на обогащение, оставляются в карьерах и идут в отходы. Это увеличивает количество потерь железа ещё примерно на треть.

Коэффициент извлечения железа составляет в реальности 40-45%, с учетом всех руд, находящихся в карьере.

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 (молющие тела, броня мельниц, изнашиваемые узлы окомкования и тп.) при измельчении железной руды и последующих операциях окускования составляют 25% и более от стоимости выпускаемого продукта.

Расход стали на заменяемое оборудования, броню мельниц, помольные шары может составлять 2-3% от веса железа в перерабатываемой руде. В этой части ГОКи работают сами на себя – чтобы продолжать своё существование – обеспечить повторный выпуск ремонтируемого и заменяемого оборудования.

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. Переход на переработку мелкозернистых руд (по той причине, что «удобных» руд с крупным металлическим зерном остается все меньше) является большой проблемой – требуется молоть руды до частиц размером 20-30 микрон. По другому металлические зерна не удается отделить от пустой породы. При этом расходы и потери значительно возрастают.

### **Термические методы обогащения**

Посмотрим на ГОКи со стороны физики. ГОК-и занимаются разрывом высокопрочных связей в минералах механическим путём, например накапливая разрушающие напряжения в куске руды, многократными ударами молотных шаров, где каждый из ударов 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 90 - 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 многократно (300-400 раз – кратность рецикла при помоле) 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.

Мы с Вами вплотную подошли к понятию – «Новая металлургия», которая оказывается интересна не только металлургам, но может решать проблемы обогащения железной руды, по сути являясь самостоятельным методом обогащения.

В 2016-2018 годах мы в ФТТ занимались численным моделированием процессов и модернизацией двух печей цветной металлургии:

– шлаковозгонная печь для восстановления металлов путем барботирования жидкого шлака пылеугольным топливом;

- современная печь ISMELT для получения меди, работающая на основе продувки шлаковой ванны через фурму струями обогащенного кислородом воздуха с использованием угля.

Развивая промышленные технологические процессы освоенные в этих печах, увеличив подачу кислорода, реально повысить температуры в печи до уровня 1800°C достаточного для получения жидкой стали или чугуна в одном процессе.

Термические методы обогащения – плавки реализуются с использованием обычных дешевых углей, неокускованных концентратов железной руды, или даже первичной руды. Это позволяет не только снизить итоговую стоимость стали, но и значительно (в разы) снизить уровень затрат при освоении новых железорудных месторождений, или затрат при расширении производства. Примерно в этом же направлении ведутся разработки процесса прямого получения стали в Голландии международным консорциумом производителей стали.

Значительно выгоднее получать из «своего концентрата» сталь, чем продавать этот концентрат или окатыши на сторону, поддерживая доменный передел, ведущий к получению чугуна, удлиняющий металлургический цикл, повышающий стоимость стали.

Владельцы ГОК-ов, используя в рамках своих предприятий процессы «Новой металлургии», могут повысить капитализацию предприятий, повысить эффективность, снизить издержки и отходы обогащения. По сути, ГОК-и превратятся в металлургические заводы.