

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И.
Носова»**

(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)

Кафедра металлургии и химических технологий

Отчет по производственной - преддипломной практике

Исполнитель: Киселёва А.В. студент 4 курса, группы ММб-19-1
(Ф.И.О.)

Руководитель практики: доц., к.т.н., Макарова Ирина Владимировна
(Ф.И.О. должность, уч. степень, уч. звание)

Руководитель практики

от

предприятия:

(подпись, Ф.И.О., должность)

Работа защищена «_____» _____ 2023г. с оценкой _____

(оценка) (подпись)

Магнитогорск, 2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова»**
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)

Кафедра металлургии и химических технологий

ЗАДАНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ-ПРЕДДИПЛОМНУЮ ПРАКТИКУ

Обучающемуся Киселёвой Альбине Владимировне группы ММб-19-1

Ф.И.О.

наименование группы

1. Период практики с _____ по _____ г.

2. Место прохождения практики

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Задание на практику

1. Цель прохождения производственной-преддипломной практики.
2. Актуальность темы выпускной квалификационной работы
3. Теоретические выкладки, необходимые для раскрытия темы ВКР
4. Практические данные, необходимые для выполнения ВКР

Руководитель практики от ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» _____
/Харченко А.С./

Дата выдачи _____

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Традиционная загрузка металлизированного сырья и виды шихтовых материалов, используемых в дуговых сталеплавильных печах.....	6
2 Получение металлизированного сырья.....	12
2.1 Способы получения металлизированного сырья и виды продукции	14
2.2 Перспективы развития бездоменной металлургии.....	17
3 Металлизированные железорудные окатыши и повышение эффективности их применения при электроплавке стали в дуговой печи.....	25
Заключение	27
Список использованных источников.....	28

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы расширяется использование при выплавке стали в электропечах металлизированных окатышей, т.е. неполностью восстановленных железорудных окатышей, получаемых методами прямого восстановления.

Отличительная особенность этого сырья — малое содержание серы, фосфора, меди, никеля, хрома и других примесей, обычно содержащихся в стальном ломе (Pb, Sn, Bi, Zn, As, Sb). Это упрощает процесс выплавки и обеспечивает получение стали высокой степени чистоты (суммарное содержание примесей в стали получается в 3—10 раз меньше, чем при выплавке из стального лома).

В современных условиях непрерывный рост доли выплавляемой электростали, сопровождающийся изменением конструкций печей, состава применяемых шихтовых материалов (металлизированных окатышей и брикетов, жидкого чугуна), увеличением доли альтернативных источников тепла, в первую очередь за счет применения топливо-кислородных горелок, вызывает необходимость продолжить исследование влияния различных параметров на выплавку стали в дуговой сталеплавильной печи.

Металлизированное сырье является очень чистым, высококачественным материалом.

Использование металлизированного сырья в электроплавке стали имеет следующие достоинства: химический состав металлизированного сырья точно известен, однороден, отсутствуют нежелательные примеси.

Постепенно растет производство электростали на таком сырье, которое на практике показывает высокую эффективность использования окатышей.

1 Традиционная загрузка металлизированного сырья и виды шихтовых материалов, используемых в дуговых сталеплавильных печах

Для получения стали в электропечах необходимы следующие шихтовые материалы: металлическая часть, шлакообразующие, окислители, добавочные материалы (раскислители и легирующие) и науглероживатели.

Металлическая часть

Основу шихты для электропечей составляет металлический лом: на одну тонну выплавляемой в электропечах стали в среднем расходуется около 950 кг лома. Примерно треть этого количества составляют брак, литейные отходы, обрезь слитков, отходы при прокатке и ковке, а также стружка от обдирки слитков, т. е. собственные отходы металлургических заводов.

Остальная часть складывается из отходов, возвращаемых заводами-потребителями, направляемого в переплав изношенного и устаревшего оборудования и инструмента и лома, собранного отделениями Вторчермета.

Кроме того, в ограниченных количествах используется специально выплавляемая шихтовая заготовка — мягкое железо, а также передельный чугун и металлизированные окатыши.

Металлический лом делится на две категории: группа нелегированных (А) и легированных (Б) отходов.

Металлический лом должен иметь определенные габариты. Мелкий лом, как правило, более окислен, замусорен и загрязнен маслом.

Значительная окисленность лома не позволяет точно оценить долю угара металла, что чревато непопаданием в заданный химический состав готовой плавки.

Особые заботы доставляет переплав стружки. Длинная витая стружка затрудняет загрузку; как правило, сильно загрязнена маслом и уже на месте получения смешивается с отходами стали других марок, а часто и со стружкой цветных металлов.

Стружка, поставляемая непосредственно в электросталеплавильные цеха, должна быть спрессована и обожжена. Дополнительные затраты на подготовку стружки вполне окупаются экономией, получаемой при использовании доброкачественной шихты.

Нежелательно, чтобы в шихте были чрезмерно крупные куски — бракованные слитки, недоливки и т. п. Можно расплавлять крупногабаритный лом, но продолжительность плавления при этом увеличивается, длительное время приходится работать на высокой мощности, что отрицательно сказывается на стойкости футеровки.

Для производства стали некоторых марок в состав шихты вводят специально выплавленную предварительно заготовку. Чаще всего она по своему составу представляет собой низкоуглеродистую сталь с ограниченным содержанием углерода, фосфора и серы, т. е. мягкое железо, полученное методом плавки на свежей шихте.

Мягкое железо должно быть в менее крупных кусках, чем легированные отходы, так как в связи с низким содержанием углерода оно плавится при более высокой температуре.

Мягкое железо намного дороже углеродистого лома и его использование отрицательно сказывается на себестоимости стали, может быть оправдано только серьезными технологическими затруднениями выплавки стали нужной марки.

Следует отметить, что для электропечной плавки характерен постоянно наблюдаемый недостаток качественного лома.

В последние годы проводятся интенсивные всесторонние исследования плавки стали в электропечах с использованием высокометаллизированных окатышей (90—95% Feобщ, 85—90% Fемет).

Построены промышленные комплексы для работы с непрерывной загрузкой окатышей в дуговую печь и с непрерывной разливкой металла. Использование чистых по сере, фосфору и сопутствующим примесям

металлизированных окатышей позволяет при обычном качестве шихты выплавлять, применяя этот процесс, качественные стали.

Шлакообразующие

При выплавке стали в основных дуговых печах для образования основного шлака используют известь, известняк, плавиковый шпат, шамотный бой и песок. В кислых печах шлак наводят из песка, шамотного боя и извести.

Наиболее важной составляющей шлаковых смесей является известь, которую получают обжигом известняка в шахтных печах при температуре 1100—1300°C. При обжиге углекислый кальций известняка разлагается на окись кальция и углекислый газ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$.

Содержание серы в известняке в большинстве случаев низкое, однако оно возрастает после обжига за счет серы топлива. Повышенное содержание серы в шлаке затрудняет процесс десульфурации металла.

Содержание других окислов в извести ограничивают по следующим соображениям: кремнезема, чтобы при заданной основности шлака количество его было меньше; окиси магния, чтобы шлак был более жидкотекучим и активным; окислов железа, чтобы не затруднять процесс десульфурации.

Вместо извести в окислительный период можно пользоваться не обожженным известняком, содержащий не менее 97% CaCO_3 (не менее 54% CaO).

Известняк не гигроскопичен, его можно длительное время хранить. Разложение углекислого кальция в электропечи вызывает выделение пузырьков CO_2 , которые обеспечивают перемешивание металла и шлака и способствуют дегазации металла. Окислительный углекислый газ окисляет примеси в металле, в частности углерод.

Отрицательной стороной применения известняка вместо извести является дополнительная затрата электроэнергии на разложение карбоната кальция.

Широкое применение для наводки шлака получил плавиковый шпат, который в случае его использования при электроплавке должен содержать 90—95% CaF_2 , не более 3,0% SiO_2 и не более 0,2 % S.

Песок также понижает температуру плавления основных шлаков, но при этом понижается и основность шлака, в основных печах песок находит ограниченное применение, в то время как в кислых печах - главный шлакообразующим материалом.

Основное требование, предъявляемое к песку — высокое (минимум 95%) содержание SiO_2 .

При выплавке нержавеющей сталей и для разжижения густых магнезиальных шлаков иногда используют бой шамотных огнеупоров, содержащих примерно 60% SiO_2 и 35% Al_2O_3 .

Окислители

Для интенсификации окислительных процессов в металл необходимо вводить кислород. Источниками кислорода служат железная руда, окалина и агломерат. Широкое распространение получила продувка металла газообразным кислородом.

Руду используют в завалку и в окислительный период.

Наиболее богатой является криворожская руда, но в ней содержится довольно много фосфора и серы. Чистая по сере и фосфору бакальская руда характеризуется повышенным содержанием пустой породы, что вызывает понижение основности шлака, увеличение его количества и требует дополнительных затрат электроэнергии.

Иногда вместо руды используют заменители — агломерат и окалину от проката. Окалина от проката углеродистых сталей является наиболее чистым окислителем, но вследствие малого удельного веса она задерживается в шлаке.

Для интенсификации окисления углерода во время окислительного периода плавки на свежей шихте, а также для быстрого повышения температуры металла, окисления избыточного углерода и сопутствующих

примесей при переплаве легированных отходов широко применяют продувку металла кислородом. Газообразный кислород чистотой около 99,5% подают в ванну под давлением 1—2 МПа (10—12 ат).

Раскислители и легирующие

Для раскисления стали и ее легирования раскислители и легирующие элементы применяют в чистом виде или в виде сплавов с железом или друг с другом.

Наибольшее распространение для раскисления и легирования стали получили металлические алюминий, никель, хром, марганец, молибден, кобальт и титан, ферросплавы — ферросилиций, ферромарганец, феррохром, ферровольфрам, феррованадий, ферромolibден, ферротитан, феррониобий, ферробор и другие, а также комплексные сплавы— силикомарганец, силикокальций, силикоцирконий, силикоалюминий, сплавы алюминия, марганца и кремния, кремния, кальция и алюминия и другие.

Содержание основного легирующего элемента в сплаве должно быть максимальным.

Сплавы должны быть чистыми от вредных для стали примесей, шлаковых включений и газов. Это особенно важно, потому что значительную часть их присаживают в печь лишь к концу плавки, когда рафинирование ванны уже закончено.

Куски сплавов должны быть определенного габарита. Наличие крупных кусков удлиняет время их растворения, затрудняет точность взвешивания и может быть причиной повышенного расхода сплава.

Науглероживатели

К числу науглероживателей принадлежат материалы, содержащие углерод и используемые для увеличения содержания углерода в металле. Они входят либо в состав шихты, либо их вводят в жидкий металл. Для науглероживания в электросталеплавильных цехах используют главным

образом кокс и электродный бой, в редких случаях (вследствие дефицита) — древесный уголь и сажу.

Основное требование, предъявляемое к науглероживателям, заключается в том, что они должны быть чистыми по вредным примесям (главным образом иметь низкое содержание серы) и вносить мало золы.

В последнее время расширяется применение металлизированных окатышей и губчатого железа - продуктов прямого восстановления обогащенных железных руд. Плавка металлизированных окатышей в электропечах (бездоменный процесс) при успешном решении проблемы эффективного восстановления окатышей может оказаться более эффективной по всем показателям, чем выплавка стали из чугуна в конвертерах.

2 Получение металлизированного сырья

В настоящее время основное количество черных металлов производится по двухступенчатой схеме чугуна-сталь, но всё большее внимание и развитие получают процессы внедоменного (бескоксового) получения металла.

Причины возникновения и развития процессов внедоменного получения металла, следующие:

- дефицит и дороговизна коксующих углей, ухудшение их качества, отсутствие во многих регионах мира;
- стремление более рационально использовать топливно-энергетические ресурсы и необходимость увеличения в горной металлургии доли наиболее экономичных видов топлива;
- газа, нефти, некоксующихся углей;
- ограниченность ресурсов скрапа гарантированной чистоты и стабильного состава;
- постоянно растущие требования к качеству металла и возможность достижения более высокого качества стали при использовании для её выплавки металлизированного сырья вместо скрапа, вследствие повышенной чистоты металлизированного сырья по вредным примесям, особенно примесям цветных металлов;
- уменьшение загрязнения окружающей среды.

Процессы внедоменного получения металла разделены на два больших класса: твердофазные и жидкофазные.

В твердофазных процессах удаление кислорода из руды при использовании газообразного или твердого восстановления происходит при температурах ниже температуры размягчения компонентов шихты.

Продукты восстановления называются губчатым железом (ГЖ), или металлизированными окатышами.

В высокотемпературных - процесс восстановления оксидов железа частично происходит при температурах расплавления, а довосстановление -

при температуре плавления оксидной и металлической фаз или восстановление происходит полностью из расплава.

Существует несколько процессов получения металлизированного сырья:

- 1) процессы в шахтных реакторах (к ним относятся и процессы Midrex и NYL);
- 2) процессы в кипящем слое (Fior, Finmet и др.);
- 3) процессы в печах с вращающимся подом (Fastmel, COMET и др.);
- 4) процессы во вращающихся трубных печах (DRC, DAV, SL/RN и др.).

Доминируют среди всех процессов Midrex и NYL, на долю которых в 2000 г. приходится соответственно 29,45 млн т и 9,39 млн т металлизированного продукта, что составляет примерно 68 % и 22 % от общего производства в мире.

Производство ГЖ непрерывно увеличивалось из года в год на 7-12 %, отвечая растущей потребности электросталеплавильного производства в первородном железе.

Лебединский ГОК (ЛГОК) - крупнейший российский производитель высококачественного железорудного концентрата, металлизированных окатышей и горячебрикетированного железа для внутреннего и международного рынков, входящий в состав холдинга «Металлоинвест» - крупнейшей и наиболее динамично развивающейся горно-металлургической компании России, также имеют полную цепочку горно-металлургического производства: от добычи руды до выпуска продукции высоких степеней передела.

Входящий в состав холдинга «Оскольский электрометаллургический комбинат» (ОЭМК) - единственный в России в странах СНГ комбинат, работающий по технологии прямого восстановления железа и ориентированный на производство сортового проката.

Использование этой технологии в комплексе с электродуговой плавкой позволяет получать металлы высочайшего качества, что обеспечивает

металлопродукция предприятия уникальные потребительские свойства и устойчивый спрос на рынке.

Лебединский ГОК является единственным производителем ГБЖ в СНГ и Европе, благодаря строительству третьего модуля завода ГБЖ (по технологии Midrex) холдинг увеличил производство на ЛГОКе до 5,2 млн т в год.

Из применяемых в мире окатышей для прямого получения железа наиболее высокое содержание оксида кремния отмечено в окатышах ОАО «ОЭМК».

2.1 Способы получения металлизированного сырья и виды продукции

Процесс Midrex

Разработанный в 1966 году фирмой Midland-Ross Corporation процесс Midrex в настоящее время используется в 18 странах, где работают 49 агрегатов.

Эволюция процесса идёт по пути повышения производительности и снижения стоимости продукции.

За счёт повышения температуры вдуваемого в реактор восстановительного газа, может быть достигнуто повышение производительности шахтных реакторов Midrex ,

Способствует этому предотвращение спекания окатышей за счет частичной замены их кусковой рудой, а главным образом за счет накатывания на них порошка CaO и MgO как при производстве, так и перед загрузкой их в реактор металлизации.

Применение кислорода, вдуваемого в восстановленный газ совместно с природным газом, также способствует росту температуры и оптимизации состава восстановительного газа.

Кроме того, на этом модуле применяется вдувание подогретого природного газа в переходную зону (между зонами восстановления и охлаждения), что улучшает использование тепла и газа в реакторе.

Решение о создании в нашей стране первого металлургического комбината на базе процесса прямого восстановления железа было принято в 1974 году.

В ноябре 1982 года в цехах Оскольского электрометаллургического комбината была получена первая промышленная партия окатышей.

ОЭМК – первое крупное отечественное предприятие бездоменной металлургии.

В основу технологического процесса прямого восстановления железа при проектировании комбината положен процесс Midrex (разработанный США фирмой «Мидрекс-Росо» он позволяет осуществить восстановление окислов железа обожжённых окатышей до 95 % Fe в шахтных печах природным газом, предварительно конвертируемым диоксидом углерода.

По системе транспорта сырья окисленные окатыши подают в промежуточный бункер 1 шахтной печи 2, откуда они самотёком через загрузочную трубу 3 и двенадцать распределительных труб 4 поступают в зону восстановления шахтной печи, где восстанавливаются горячим восстановительным газом

Восстановительный газ 5 выходит из зоны восстановления в виде колошникового газа 6, который очищают от пыли и охлаждают водой в скруббере 7, после чего разделяют на два потока: технологический 8 и топливный 9 газы.

Технологический газ подвергают сжатию в двух ступенях компрессоров 10 до 1,2-1,5 бар (120...150 кПа), затем подают в холодильник технологического газа 11, где устанавливают в нём необходимое содержание паров воды.

Смешанный технологический газ с подогретым природным газом 13 подогревают в рекуператоре 14 и подают в реакционные трубы реформера 15.

При необходимости в смешанный газ подают пар 16.

Конверсию природного газа окислителями технологического газа производят на никелевом катализаторе в 288 реакционных трубах при температуре 900...920 °С.

Тепло для нагрева и конверсии выделяется в межтрубном пространстве реформера за счёт сжигания топливного колошникового и природного газов в 120 главных и 36 вспомогательных горелках, воздух на которые подают от главной 17 и вспомогательной воздуходувок.

Часть конвертированного газа 19 проходит через холодильник 18 для регулирования температуры в пределах от 30 до 45 °С.

Охлаждённый газ используют для регулирования температуры всего потока конвертированного газа.

Конвертированный газ после коррекции по CH_4 с заданной температурой поступает в зону восстановления шахтной печи через 72 фурменных отверстия.

Дымовые газы 20 реформера используют в рекуператоре для подогрева воздуха подаваемого на главные горелки, а также смешанного природного газов и выбрасывают дымососом 21 в дымовую трубу 22. Металлизированные окатыши из зоны восстановления, пройдя питатели постоянного действия 24, поступают в зону охлаждения, где их температура снижается охлаждающим газом 25.

С целью регулирования массовой доли углерода в окатышах и распределения температуры в шахтной печи организованы перетоки холодного конвертированного газа 26 в охлаждающий газ, горячего восстановительного газа из зоны восстановления - в зону охлаждения со сбросом части охлаждающего газа 27 в топливный газ, подача

технологического и природного газов в зону охлаждения и природного газа - в промежуточную зону.

Выгрузку металлизированных окатышей из печи производят маятниковым разгрузочным устройством 29, расположенным в нижней части печи. Термически пассивированными металлизированными окатышами (*ТПМО*) считают продукт, полученный при температуре восстановительного газа не ниже 880 °С с нанесением защитного покрытия и имеющий реакционную способность не более 2,8 нм³ O₂/т сутки.

Пассивированные окатыши получают обработкой окисленных окатышей в промбункере шахтной печи сырьевым шламом цементного завода или меловой суспензией.

Исходным сырьём для приготовления защитной водной суспензии является сырьевой шлак цементного производства плотностью от 1,4 до 1,8 т/м³ или смесь сырьевого шлама и меловой суспензии производства «Мел КМА».

2.1.1 Очистка природного газа от серы

Природный газ, поступающий на ОЭМК, может содержать до 155 мг/м³ соединений серы в виде сероводорода, серооксиуглерода (COS) и меркаптанов. Поскольку конверсия газа проводится на никелевых катализаторах, серосодержащие компоненты в газе вызывают помехи, которые могут «отравить» катализатор. Поэтому необходимо удалить упомянутые соединения серы из природного газа до содержаний, обусловленных особенностями процесса «Midrex».

С этой целью предусмотрена двухступенчатая очистка:

1 ступень - очистка фильтрацией через молекулярные сита;

2 ступень - тонкая очистка оксидом цинка.

В печи металлизации протекают процессы восстановления.

Твёрдые материалы поступают сверху в реактор, работающий под давлением, и покидают его снизу, выходя из пространства с избыточным давлением в окружающую среду. Твёрдые материалы (окисленные окатыши) опускаются в печи под действием силы тяжести по мере того, как на нижнем конце печи они выгружаются (уже в виде металлизированного продукта) в заданном режиме.

Одновременно горячий восстановительный газ, вдуваемый через сопла примерно на середине высоты шахтной печи при температуре 760 °С и абсолютном давлении 0,2 МПа, движется навстречу потоку окатышей вверх, где и выходит из печи уже как колошниковый газ при температуре 400 °С и абсолютном давлении 0,13 МПа.

Для предотвращения выхода из печи горючих газов, находящихся под избыточным давлением, устройства для загрузки окисленных окатышей и выгрузки металлизированного продукта уплотнены при помощи так называемых газовых динамических затворов, подаваемый инертный (затворный) газ, (продукты сгорания, содержание кислорода в которых поддерживается на уровне 0,5- 1%) через затворы под давлением, обеспечивает движение этого газа в трубчатках загрузки и выгрузки только внутри печи.

Время пребывания окатышей в зоне восстановления при проектной производительности модуля устанавливается в точках, так чтобы достигалась средняя степень металлизации в пределах 94%.

Развитие различных реакций процесса металлизации

Для управления восстановительным процессом воспользуются в основном следующими взаимозависимости:

1. Повышение содержания CO , в восстановительном газе снижает его восстановительную способность.

2. Повышение содержания CH_4 , в восстановительном газе охлаждает слой окатышей и повышает восстановительную способность газа при достаточно высокой температуре.

3. Увеличение отношения H_2/CO в восстановительном газе охлаждает слой окатышей.

Внизу зоны восстановления наряду с восстановлением происходит и науглероживание металлизированного продукта, в котором углерод появляется преимущественно в форме карбида железа.

На содержание углерода можно повлиять следующими практическими мероприятиями:

- изменением содержания метана в восстановительном газе путём добавки природного газа к охлаждённой части конвертированного газа;
- увеличением содержания метана в охлаждающем газе с тем, чтобы заданное количество CH_4 поступало в переходную зону, а из неё - в зону восстановления.

В нижней части печи металлизации (ниже переходной зоны и вплоть до нижнего динамического затвора) происходит охлаждение металлизированного продукта.

2.1.3 Цикл охлаждающего газа

В зоне охлаждения печи металлизации горячий металлизированный продукт (имеющий температуру $760\text{ }^\circ\text{C}$) отдаёт физическое тепло охлаждающему газу, который входит в эту зону с температурой $40\text{ }^\circ\text{C}$.

Здесь теплопередача тоже идёт в противотоке, так как охлаждающий газ движется снизу вверх из распределителя в отводящие каналы, расположенные поперёк шихты навстречу движущимся сверху вниз окатышам.

Для обеспечения равномерного хода печи предусмотрено разрыхление материалов в печи на трёх уровнях зубьями питателя, постоянно движущегося взад и вперёд.

Три верхних постоянно действующих питателя выполнены водоохлаждаемыми, а два средних и нижний работают без охлаждения.

Охлаждённый металлизированный продукт выходит из печи металлизации через нижний динамический затвор и далее через маятниковый питатель. Как

и на участке загрузки шихтовых материалов в печь металлизации, к нижнему динамическому затвору постоянно подводится инертный газ.

Между зонами восстановления и охлаждения всегда происходит неизбежный небольшой газообмен. Условия этого газообмена определяются расходом затворного газа, постоянно подводимого через динамический затвор, и устанавливаемым соотношением давлений в циклах технологического и охлаждающего газов.

Процесс HYL III

Разработанный мексиканскими фирмами процесс HYL, был впервые реализован в 1957 году, как процесс в стационарном слое с использованием принципа противоточного тепло- и массообмена (HYL-1), реализуемого путём последовательной продувки находящихся в 3-х стационарных ретортах железорудных материалов (окатышей или кусковой богатой железной руды) горячим (980..1 240 °С) восстановительным газом, получаемым путём паровой конверсии природного газа.

Концептуальная технологическая схема процесса предусматривает использование восстановительного газа с повышенным содержанием водорода (70...87 %), высокого избыточного давления в реакторе (более 550 кПа) и высокой температуры в зоне восстановления (более 920 °С).

Типичной шихтой для процесса HYL-III является смесь окатышей (70 %) и кусковой железной руды (30 %). Расход железорудных материалов на 1 т ГЖ со степенью металлизации 94 % и содержание С 2,2 % составляет 1,45 т.

Процесс позволяет получать при необходимости содержание С в ГЖ до 5 %.

Для предотвращения спекания кусков руды в процессе их металлизации используют опрыскивание загружаемой руды цементно-водяной суспензией с расходом цемента (или альтернативного материала) 4 - 6 кг/т руды.

Значительное повышение экономической эффективности производства. ГЖ в шахтных реакторах HYL достигается за счёт новой технологии получения восстановительного газа, а именно - процесса самореформинга природного газа, разработанного фирмой HYL, с участием фирмы Sidor/Danieli (прежний процесс Arex).

Кроме процесса самореформинга на этом заводе реализована высокотемпературная пневматическая транспортная система (Hytemp Pneumatic Transprt System) для подачи горячего науглероженного ГЖ

непосредственно из реактора НУЛ в расположенную рядом электросталеплавильную печь.

Эффективность использования энергии в процессе составляет 87 %, что намного превышает эффективность использования энергии в большинстве процессов производства ГЖ, используемых в мире, где она составляет только около 70%.

Высокая эффективность использования энергии в процессе НУЛ, на этом заводе достигается за счёт минимизаций расхода газа на сжигание (0,7 Гкал/т ГЖ, при 1,2..1,5 Гкал/т в других процессах), за счёт высокой химической энергий ГЖ(высокое содержание углерода и высокая степень металлизации ГЖ), а также за счет высокого теплосодержания ГЖ.

Установка НУЛ Ш рассчитана на работу двух независимых секций: одна - для генерирования восстановительного газа, а другая - для восстановления окатышей

Получающийся продукт, так называемое губчатое железо, содержит около 88 % Fe и 1,5..2 % С. При этом степень металлизации составляет около 94..95 %. Окатыши выходят из реактора с температурой 640...680 °С и подаются на установку брикетирования.

2.2 Перспективы развития бездоменной металлургии

Чёрная металлургия - одна из старейших горнодобывающих отраслей промышленности - во второй половине XX века изменялась не только количественно, но и качественно, мировое производство товарных железных руд увеличилось в 3,3 раза, чугуна и стали - в 4 раза.

Состояние и развитие металлургии в значительной степени определяются динамикой развития мировой экономики.

Крупнейшей страной-производителем стали сегодня является Китай. В 2021 году в КНР было выплавлено 1032,8 млн. тонн металла, что на 3% меньше, чем в 2020 год. Однако и такого объема Поднебесной хватило, чтобы

подтвердить свое лидерство. Доля КНР в общемировом производстве по итогам 2021 года составила 52,95%.

На второй строчке рейтинга со значительным отставанием от КНР находится Индия. По итогам 2021 года в Индии было выплавлено 118,24 млн. тонн стали. Рост составил 17,7%. Доля этой страны составила 6,05% мирового производства.

Третье место в мире по выплавке стали занимает Япония. В 2021 году Страна восходящего солнца тоже нарастила объемы производства на 15,7%, выдав на-гора 96,33 млн тонн металла. В результате доля Японии в мировом производстве составила 4,94%.

Также в пятерку стран-лидеров по выплавке стали входят США и Россия.

Россия в 2021 году также нарастила объемы производства, правда на меньшую величину, чем США, Япония или Индия. Прирост составил 6,1%, по сравнению с 2020 годом. Это позволило РФ занять 3,90% мирового производства с показателем 75,58 млн. тонн.

Ведущими производителями стали в России являются группа компаний НЛМК, Евраз, ММК, «Северсталь», а также Металлоинвест, Мечел и ТМК.

Развитие металлургии на базе процессов прямого восстановления железа является основной альтернативой металлургии полного цикла. Для ускоренного развития данного производства имеются все необходимые предпосылки. В настоящее время эффективность технологий прямого восстановления выше, чем на большинстве предприятий с доменно-сталеплавильным переделом.

Экономическая целесообразность производства стали с использованием железа прямого восстановления и, как следствие, бурное развитие бескоксовой металлургии определяется следующими факторами:

1. Ограниченностью запасов коксующихся углей, ухудшением их качества и технико-экономических показателей добычи и переработки.

2. Ориентацией современной мировой металлургии на увеличение объёмов использования дуговых электросталеплавильных печей для производства чистых марок сталей.

3. Стремлением более рационально использовать топлив. но- энергетические ресурсы и необходимостью увеличения чёрной металлургии доли наиболее экономичных видов топлива- газа, нефти, некоксующихся углей.

4. Ограниченностью ресурсов скрапа гарантированно чистоты и стабильного состава.

5. Постоянно растущими требованиями к качеству металла и возможностью достижения более высокого качества стали при использовании для её выплавки металлизированного сырья, отличающегося от скрапа повышенной чистотой по вредным примесям.

6. Уменьшением загрязнения окружающей среды.

7. Возможностью организации мелкомасштабной металлургии и расширения экономико-географических районов рентабельного металлургического производства.

Наибольшее распространение в мировой практике производства железа прямого восстановления получили технологии Midrex и HYL.

На сегодняшний день технология производства железорудных окатышей продолжает совершенствоваться. При этом следует отметить несколько направлений развития данной технологии:

- повышение теплового КПД конвейерной обжиговой машины путём оптимизации циркуляционных тепловых потоков;

- повышение коэффициента полезного использования обжиговой машины;

- снижение тепловых потерь за счёт внедрения современных футеровочных материалов и совершенствования конструкций продольных уплотнений;

- улучшение металлургических свойств готовых окатышей для установок прямого восстановления железа.

3 Металлизированные железорудные окатыши и повышение эффективности их применения при электроплавке стали в дуговой печи

Металлизированные окатыши, обладая исключительными металлургическими свойствами, является перспективным материалом для процесса плавки стали. Однако процесс их усвоения железоуглеродистым расплавом в условиях, характерных для реальной сталеплавильной ванны, недостаточно изучен, он и является предметом настоящего рассмотрения, прежде всего в условиях, характеризующих начало плавки, т.е. при низких температурах расплава и интенсивности его перемешивания.

С целью интенсификации процесса выплавки стали в ДСП рекомендуется подача железорудных металлизированных окатышей (ЖМО) в расплав ванны через отверстия в графитированных электродах

Пластические свойства окатышей, проявляющиеся при восстановлении, определяются в первую очередь микроструктурой окатышей - фазовым составом связок и поровым пространством.

Уменьшение содержания как основных, так и кислотных оксидов приводит к увеличению усадки слоя окатышей в процессе их восстановления.

Анализ влияния данного на усадку слоя окатышей в восстановительной атмосфере показал, что повышение доли общего железа, сопровождающееся уменьшением содержания оксидов кремния, способствует улучшению пластических свойств окатышей, но увеличение степени офлюсования позволяет их снизить

Прочность железорудного сырья обусловлена в свою очередь механическими свойствами связок, образующихся при обжиге. Фазовый состав и морфология их зависят от химического состава железорудного концентрата, вводимых в шихту добавок, газовой фазы, участвующих в процессе обжига.

Микроструктурный анализ показал, что окатыши из шихты разных составов имеют незначительные отличия.

Проведённые микроструктурные исследования позволили выявить общие закономерности механизма формирования структуры связки рудной части окатыша.

Отмечено, что во всех пробах обожжённых окатышей увеличение их общей пористости происходит в случае добавки известняка (вследствие его диссоциации).

Анализируя связь микроструктуры с характеристиками поведения окатышей в процессе восстановления, следует отметить, что оксид алюминия переходит в фазы связки (ферритную и силикатную), тем самым, повышая уровень прочности окатышей, снижая их склонность к спеканию, уменьшая усадку слоя и увеличивая восстановимость, необходимо иметь соотношение между оксидами кальция и алюминия в пределах 2-2,5.

Металлографические исследования показали, что после подачи окатышей в ванну дуговой печи образуется на его поверхности гарнисажная корочка может быть как шлаковой, так и шлакометаллической, а другие зоны в структуре окатыша формируются температурой и длительностью нахождения образца в железо-углеродистом расплаве ванны дуговой печи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Проведен сравнительный анализ различных шихтовок для выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи, выявлены достоинства и недостатки каждого вида шихтовки.

2) Рассмотрены основные способы получения металлизированного сырья, а именно процессы в шахтных реакторах - процессы Midrex и HYL;

3) Рассмотрена статистика данных о выплавке сырой стали в металлургических предприятиях России и мира.

4) Выявлены факторы, влияющие на технико-экономические показатели работы ДСП при использовании металлизированного сырья.