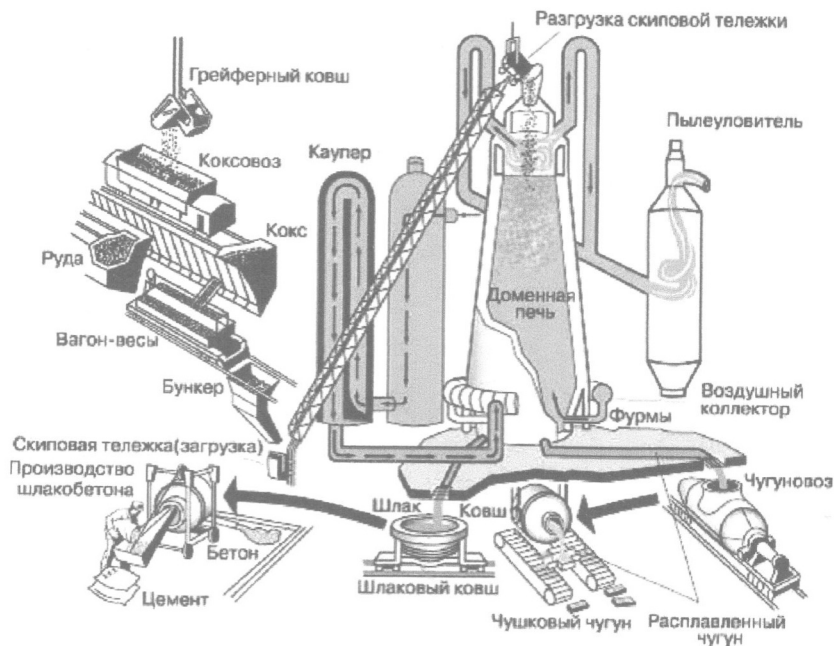


В.А. БЕЛЕВИТИН

ТЕХНОЛОГИЯ, МАТЕРИАЛЫ И ПРОДУКЦИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ



В. А. Белевитин

**ТЕХНОЛОГИЯ, МАТЕРИАЛЫ И
ПРОДУКЦИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ**

Учебное пособие

Челябинск

2017

ББК 30.3я73

УДК 620.1 (021)

Б 43

Белевитин В.А. Технология, материалы и продукция доменной плавки: учебное пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во «ЦИЦЕРО», 2017. – 43 с.: с ил.

ISBN 978-5-91283-900-9

В учебном пособии приведены сведения о производственном цикле доменной плавки, рассмотрены теоретические основы подготовки компонентов основного сырья доменного процесса – шихтовки и окускования обогащаемой до агломерата или окатышей железной руды, подготовки кокса к доменной плавке, комбинированию воздушного дутья с применением природного газа и пылеугольного топлива. Представлен материал по устройству доменной печи и вспомогательного оборудования, процедуре доменного процесса плавки чугуна с реализацией физико-химических реакций восстановления железа, продуктам доменной плавки. Учебное пособие будет полезно для студентов, обучающихся по специальности «Профессиональное обучение (автомобили и автомобильное хозяйство)».

Рецензенты:

Г.А. Орлов, докт. техн. наук, проф., Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина;

К.Н. Семендяев, канд. техн. наук, зам. дир-ра ЮУГТК

ISBN 978-5-91283-894-1

© Белевитин В.А., 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ПОДГОТОВКА ПРОДУКТОВ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ	5
1.1. Производственный цикл доменной плавки.....	5
1.2. Шихтовка и окускование обогащаемой до агломерата или окатышей железной руды.....	6
1.3. Подготовка кокса к доменной плавке	10
1.4. Комбинирование воздушного дутья с применением природного газа и пылеугольного топлива.....	13
Контрольные вопросы по главе 1.....	14
Глава 2. АЗБУКА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ	15
2.1. Устройство доменной печи.....	15
2.2. Процедура доменного процесса плавки чугуна....	24
2.3. Интенсификации доменного процесса плавки чугуна.....	31
Контрольные вопросы по главе 2.....	34
БИБЛИОГРАФИЯ.....	35

ВВЕДЕНИЕ

Уровень технического развития страны в значительной степени определяет производство черных металлов, доля которых составляет ~ 95% от общего объема производства металлов. Черные металлы удовлетворяют большинству требований, предъявляемых к конструкционным материалам. На основе черных металлов конструируются композиты – многослойные составные материалы, обладающие рядом уникальных специфических свойств.

Современное доменное производство, как первый этап производство черных металлов, предъявляет очень высокие требования к исходным материалам, в первую очередь, к железорудным материалам: шихте и коксу, а также к параметрам комбинированного воздушного дутья с применением природного газа и пылеугольного топлива.

Иногда колебания содержания железа в руде достигает $\pm 10\%$. При использовании неусредненных железных руд невозможно получить чугуна постоянного химического состава, что ведет к перерасходу кокса при плавке.

Благодаря агломерации, которую следует рассматривать шире, чем окускование, вследствие присущего ей физического процесса спекания протекают химико-минералогические превращения (разложение карбонатов, окисление серы, удаление гидратной влаги, частично мышьяк и др.), улучшающие качество агломерата и окатышей: получается кусковой пористый офлюсованный материал, способствующий повышению эффективности доменного процесса получения качественного продукта - передельного и литейного чугуна, ферросплавов.

Глава 1

ПОДГОТОВКА ПРОДУКТОВ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

1.1. Производственный цикл доменной плавки

Полный производственный цикл производства в черной металлургии включает в себя следующие основные этапы:

- добыча руды, ее обогащение и переработка в агломерат или окатыши (рудоуправления и горно-обогачительные комбинаты – ГОКи);
- добыча коксующихся углей и их переработка в кокс;
- производство ферросплавов (как элемента для легирования или раскисления металла);
- производство передельного чугуна;
- выплавка стали;
- производство поковок и проката – листов, полос, труб и другой продукции [1–52].

В черной металлургии в зависимости от *используемого сырья* выделяют:

- доменное производство (сырьем служит обогащенная до агломерата или окатышей железная руда и кокс) передельного чугуна, из которого затем выплавляют сталь;
- бескоксовую технологию – технологию прямого восстановления, когда в установке металлизации идет прямое восстановление обогащенной железной руды газом;
- технологию, использующую лом: в настоящее время в черной металлургии мира примерно 2/5 железосодержащего сырья составляет стальной лом.

Доменный цех (рисунок на титульной обложке учебного пособия) является начальным звеном металлургического производства – его назначение – выплавка чугуна.

Основными материалами для выплавки чугуна в обеспечение успешности протекания доменного процесса служат железная руда, обогащенная до агломерата или окатышей, кокс, который представляет собой спекшийся, чрезвычайно твердый пористой структуры углеродистый продукт высокотемпературной переработки каменного угля, и известняковый материал, улучшающий условия доменной плавки. В зонах когезии и первичного шлакообразования доменной печи кокс предопределяет сохранение газопроницаемости и дренажной способности этих зон. Обогащение и переработка железосодержащей руды в агломерат или окатыши представляют собой заключительные технологические переделы первого этапа полного производственного цикла в черной металлургии. В настоящее время подготовке компонентов основного сырья доменного процесса уделяется большое внимание.

1.2. Шихтовка и окускование обогащаемой до агломерата или окатышей железной руды

Первым основным исходным материалом доменной плавки является агломерат или окатыши. Получаемые при обогащении руд железные концентраты с содержанием 60–65 % железа подвергают шихтовке, окускованию и затем плавят в смеси с коксом в доменной печи.

Шихтовка окускованных концентратов проводится с целью усреднения их состава, а также смешения с требуемыми флюсами. Флюсы в доменной плавке применяют

для связывания оксидов пустой породы и золы кокса в шлаки определенного состава, обеспечивающего необходимые физические свойства шлаков (вязкость, плотность и др.). В качестве флюса обычно используют известняк.

Окускование шихты необходимо по условиям работы доменной печи. Наличие в шихте мелкого материала резко ухудшает газопроницаемость столба шихты в печи, вызывает большие потери материала с пылевыносом. Оптимальная крупность материала для доменной плавки – 30–100 мм. Окускование может осуществляться двумя методами: агломерирующим обжигом и окатыванием.

Агломерирующий обжиг проводится на ленточных агломашинах (рис. 1.1), лента которых состоит из секций (паллет), имеющих дырчатую поверхность.

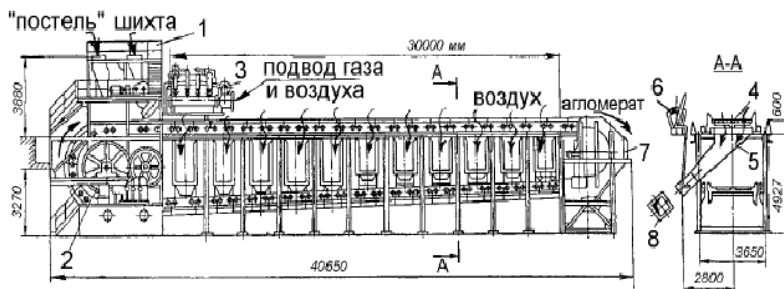


Рис. 1.1. Схема агломерирующего обжига на ленточной агломашине:

- 1 – питатели для "постели" шихты; 2 – привод агломашинны;
- 3 – горн для зажигания шихты; 4 – тележки; 5 – камеры разрежения;
- 6 – задвижки для регулировки разрежения; 7 – разгрузочная часть агломашины; 8 – сборный канал дыма

На ленту агломашины укладывают слой шихты, состоящей из железного концентрата (40–50 %), оборотного агломерата (20–30 %), угля (4–6 %), флюсов (15–20 %), влаги (6–9 %). При движении ленты каждая секция (паллета) попадает сначала под зажигательный горн 3, где воспламеняется уголь, содержащийся в шихте. При дальнейшем движении сквозь секции агломашины просасывается воздух, продолжается горение угля и развивается высокая температура (1500 °С). В результате происходит частичное оплавление материала (железного концентрата, оборотного агломерата, флюсов) и он спекается в крупные куски (агломерат). После схода с машины агломерат охлаждают, дробят и подвергают грохочению до нужного класса крупности.

Окатывание (грануляция) – это операция укрупнения тонкодисперсных руд, концентратов, пылей и порошков, при которой происходит окомкование материала и он превращается в круглые окатыши (гранулы), сохраняющие свою форму и размеры при дальнейшей переработке. При окусковании окатыванием железный концентрат в смеси с флюсом окатывают в шарики (окатыши) диаметром 20–35 мм в чашевых (тарельчатых) или барабанных грануляторах.

Чашевый гранулятор (рис. 1.1) представляет собой цилиндрическую чашу диаметром до 7,5 м с плоским днищем и прямым бортом высотой до 650 мм, наклоненную к горизонту под углом 40–60° и вращающуюся с частотой 4–9 мин⁻¹. Чашевый гранулятор выдает кондиционные окатыши требуемой крупности, которая зависит от скорости

вращения, размеров, наклона чаши и свойств материала. Производительность грануляторов этого типа изменяется от 30–40 до 120–140 т/ч.

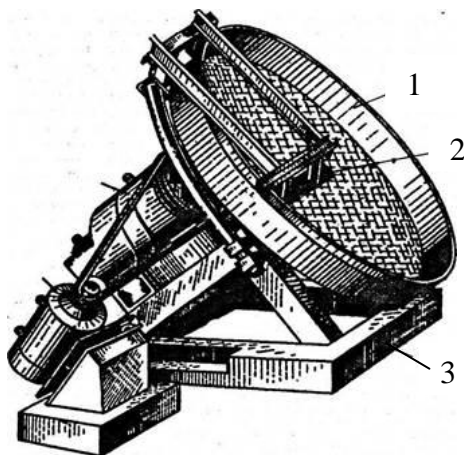


Рис. 1.1. Чашевый гранулятор:
1 – чаша; 2 – нож; 3 – рама; 4 – электро-
двигатель; 5 – редуктор

Прочность сырых окатышей относительно мала, для повышения ее применяют искусственную сушку при температуре 200–400 °С или прокалку (высокотемпературный обжиг) при температуре 800–1100 °С.

Барабанный гранулятор (рис. 1.2) представляет собой горизонтальный или наклоненный под углом 1–3° в сторону выгрузки цилиндр с закрепленными на нем бандажными и венцовыми шестернями, через которую передается крутящий момент от электродвигателя. С торцов барабан снабжен загрузочной и разгрузочной камерами, гермети-

зирующими рабочий объем гранулятора. Исходная шихта вводится в барабан через течку 2 загрузочной камеры.

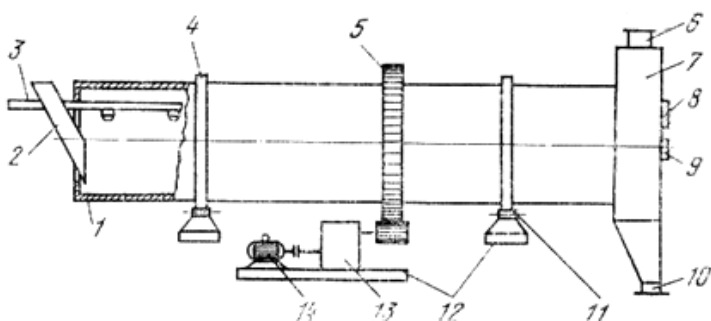


Рис. 1.2. Барабанный гранулятор:

1 – обечайка; 2 – течка для загрузки шихты; 3 – распределитель связующего; 4 – бандаж; 5 – венцовая шестерня; 6 – патрубок для отсоса паров; 7 – разгрузочная камера; 8 – окно для подсветки; 9 – смотровое окно; 10 – патрубок для выгрузки гранул; 11 – опорный ролик; 12 – бетонные основания; 13 – редуктор; 14 – электродвигатель

1.3. Подготовка кокса к доменной плавке

Второй обязательный исходный продукт плавки – кокс, который служит восстановителем оксидов металлов и источником тепла для плавки. Он должен отвечать следующим требованиям:

- обладать высокой теплотой сгорания;
- характеризоваться достаточной прочностью и термостойкостью;
- обладать неспекаемостью в условиях доменного процесса;
- иметь достаточную чистоту по содержанию вредных примесей – серы и фосфора.

Подготовка к доменной плавке кокса, представляющего собой спекшийся, чрезвычайно твердый пористой структуры углеродистый продукт высокотемпературной переработки каменного угля, является важнейшим и определяющим показателем эффективности доменной технологии, поскольку кокс является самым дорогостоящим компонентом доменной шихты и доля его в себестоимости чугуна достигает 30%.

Еще до загрузки в доменную печь кокс претерпевает значительные изменения фракционного состава при транспортировке его от коксохимического завода до бункерной эстакады доменного цеха. Проведенные на Череповцеком, Карагандинском и Нижнетагильском металлургических предприятиях исследования показали, что разрушение кокса всех классов в наибольшей степени происходит на начальном этапе транспортировки. Наибольшему разрушению подвержен кокс крупностью более 80 и 80–60 мм, что определяет повышение доли классов 60–40 и 40–25 мм.

В настоящее время за рубежом качество кокса, помимо фракционного состава, характеризуется показателями горячей прочности (CSR) и реакционной способности (CRI). Авторы ряда работ отмечают, что повышение показателя CSR более 60% позволяет стабильно поддерживать расход вдуваемого пылеугольного топлива (ПУТ) выше 150–180 кг/т чугуна. Улучшение качества и современная подготовка кокса к доменной плавке, наряду с мероприятиями по улучшению качества железорудной шихты и

параметров дутьевого режима, позволяют обеспечивать качественный рост показателей доменной плавки.

В настоящее время в полном соответствии с современным техническим уровнем в мире общепринята схема подготовки кокса, включающая высев из металлургического кокса мелочи менее 32–40 мм, высев и дробление фракции более 80 мм, высев из отсева коксового орешка фракцией от 5–15 до 32–40 мм с последующей его загрузкой в печь в смеси с железорудной шихтой. Данная схема подготовки кокса решает ряд задач:

- отсев из металлургического кокса фракции менее 40 мм, а также более 80 мм с последующим её дроблением, способствует улучшению однородности фракционного состава всей массы загружаемого скипового кокса, повышению среднего размера куска, порозности и газопроницаемости коксовой насадки;

- выделение из отсева кокса коксового орешка с последующей его загрузкой в рудную часть определяет повышение газопроницаемости как «сухой» зоны, так и зоны когезии доменной печи, соответствующее увеличение количества проходящих через указанные зоны газов;

- определяет снижение потерь кокса в виде фракции –10 мм по сравнению с традиционной технологией.

Предложенная схема подготовки кокса в доменном производстве создает условия для более рационального его применения, увеличения газопроницаемости столба шихты и повышения эффективности использования восстановительного потенциала газа и, соответственно, повышения оптимального расхода и эффективности применения до-

полнительных видов топлива. Для гранулометрического состава скипового кокса важнейшее значение имеют минимальный и максимальный размеры кусков кокса, поскольку они в решающей мере определяют замусоренность коксовой насадки и ее газопроницаемость.

На современном уровне подготовки кокса к доменной плавке при выделении из отсева кокса коксового орешка и использовании его в доменной плавке минимальный размер кусков скипового кокса целесообразно поддерживать на уровне 32–40 мм, при этом количество фракции +80 мм должно быть минимальным.

1.4. Комбинирование воздушного дутья с применением природного газа и пылеугольного топлива

Третьим исходным продуктом доменной плавки является воздушное дутье. Воздух необходим для сгорания кокса. Вместе с тем, для снижения расхода кокса и повышения эффективности доменной плавки воздушное дутье дополняется применением природного газа (ПГ) и пылеугольного топлива (ПУТ).

Наличие запасов неспекающихся углей, пригодных для приготовления их из ПУТ, определяют возможность замены природного газа и до 40–50% кокса за счет использования ПУТ. Однако вдувание ПУТ без соответствующего изменения технологии доменной плавки не позволит повысить его расход более 100 кг/т чугуна. Для эффективно использования ПУТ-технологии необходимо внедрение компенсирующих мероприятий, направленных на улучшение качества шихтовых материалов, шлакового и температурно-дутьевого режимов и т.д. В первую очередь это

относится к повышению качества кокса. Современная система подготовки кокса к доменной плавке, обеспечивающая повышение содержания в скиповом коксе фракций 40–60 и 60–80 мм до 95% и выше, наравне с другими компенсирующими мероприятиями обуславливает обеспечение повышения оптимального расхода и эффективности применения ПУТ с сохранением при этом производительности доменных печей без значительных капитальных затрат.

Подготовка кокса к доменной плавке – неотъемлемая процедура доменного процесса. Использование высококачественного кокса при выплавке чугуна позволяет значительно сократить расход наиболее дорогих материалов доменной плавки – природного газа и кокса.

Контрольные вопросы к главе 1

1. Охарактеризуйте технологическую схему переработки железной руды перед плавкой.
2. В чем сущность выщелачивания ценных компонентов руды?
3. Назовите и охарактеризуйте типы выщелачивания ценных компонентов руды.
4. В чем заключаются преимущества непрерывного выщелачивания ценных компонентов руды?
5. Охарактеризуйте технологическую схему рудоподготовки на установке кучного выщелачивания.

Глава 2

АЗБУКА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

2.1. Устройство доменной печи

Доменная печь представляет собой шахтную печь круглого сечения (рис.2.1), состоящую из колошника I, шахты II, распара III, заплечиков IV и горна V. Печь футерована огнеупорной кладкой (верхняя часть шамотным кирпичом, нижняя – преимущественно углеродистыми блоками). Для предотвращения разрушения кладки и защиты кожуха печи от высоких температур используют холодильники, в которых циркулирует вода. Кожух печи и колошниковое устройство поддерживаются колоннами, установленными на фундаменте.

В колошник I – верхнюю цилиндрическую часть доменной печи – при помощи засыпного аппарата загружают шихтовые материалы (кокс, агломерат и частично руду с флюсом), называемые шихтой. Наиболее распространенная конструкция засыпного аппарата состоит из малого конуса 1 и большого конуса 2. Конусный метод загрузки обеспечивает такое распределение материалов в печи, при котором более крупные куски шихты попадают к центру печи, а более мелкие располагаются ближе к стенкам. При этом получается наиболее полный охват газами всей шихты. Обычно газы стремятся пройти у стенок печи, значительно меньшее количество их проходит через центр. Загрузочно-распределительное устройство еще предотвращающее утечку газов.

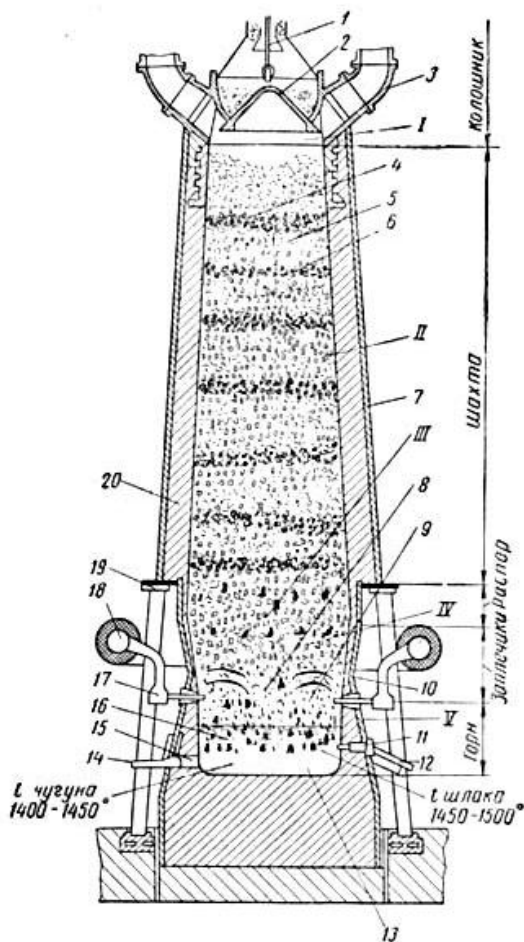


Рис 2.1. Схема типовой доменной печи
(вертикальный разрез):

1 - малый конус; 2 - большой конус; 3 - газоотводные трубы; 4 - флюс; 5 - кокс; 6 - руда; 7 - кожух; 8 - капли чугуна; 9 - капли шлага; 10 - броня; 11 - шлаковая летка; 12 - желоб для выпуска шлага; 13 - лещадь, 14 - желоб для выпуска чугуна; 15 - чугунная летка, 16 - жидкий шлаг; 17 - фурмы; 18 - кольцевой воздухопровод, 19 - опорное кольцо, 20 - огнеупорная кладка

Создавая более плотный слой материалов у стенок и менее плотный — в центре, добиваются равномерного прохождения газов по всему сечению печи, что способствует более полному восстановлению руды.

К колошнику прикреплены газоотводные трубы, через которые отводят колошниковый газ. Температура в колошнике — от 150 до 300 °С (рис. 2.2).

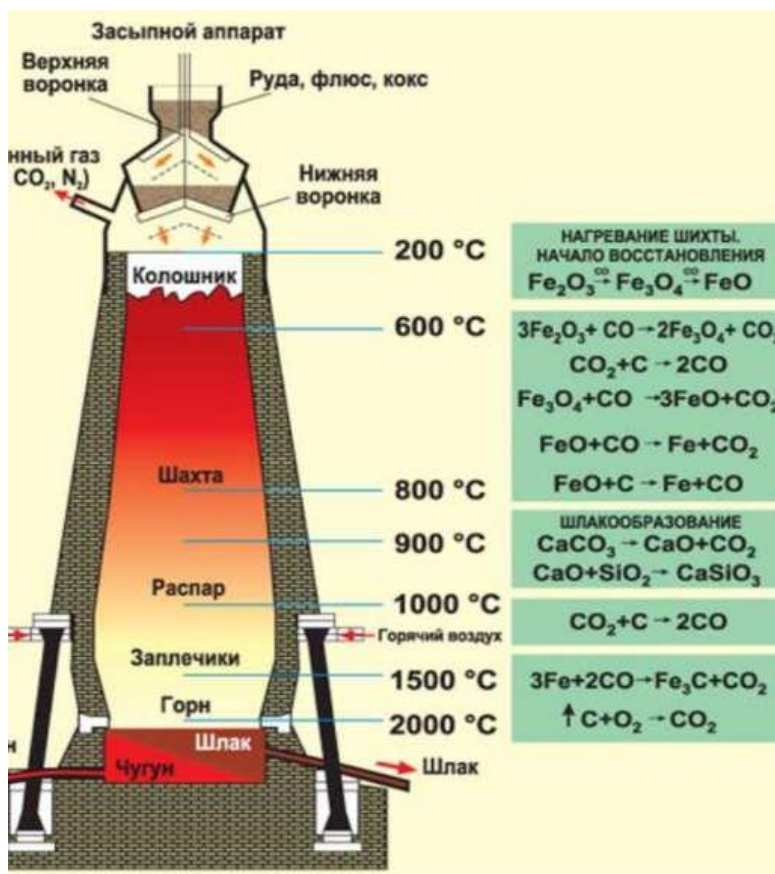


Рис. 2.2. Схема конструкции доменной печи, распределение температур и ряд физико-химических операций

Шахта II имеет форму усеченного конуса, расширяющегося книзу. Это наибольшая часть печи. В шахте происходят высушивание руды, выделение химически связанной воды, растрескивание руды и начинается восстановление ее окислов. Температура в шахте на разной высоте от 350 до 1000 °С (см. рис. 2.2).

Распар III имеет цилиндрическую форму и является самой широкой частью доменной печи. В распаре начинаются шлакообразование и плавление металла. Температура в этой зоне около 1400 °С и выше (см. рис. 2.2).

Запечники IV имеют форму усеченного конуса, сужающегося книзу. В них происходит дальнейшее расплавление металла и шлака. Температура достигает 1600–1900° С. В запечниках заканчивается процесс шлакообразования. Здесь остается в твердом состоянии только горючее и часть флюса.

В верхней части горна V расположены фурмы 17 устройства для вдувания в печь горячего воздуха, обеспечивающего горение топлива. Фурмы расположены по окружности горна. У доменных печей их бывает шестнадцать и больше. В фурмах имеются окошки с термостойкими стеклами, позволяющие производить визуальный контроль процесса. Воздух в фурмы попадает из кольцевого воздухопровода 18. В верхней части горна расположено отверстие для выпуска чугуна — чугунная летка 15. Выше чугунной летки устроена шлаковая летка 12 для выпуска шлака. Температура в горне достигает 1800°С. На дне горна, называемом лещадью 13, скапливается шлак на поверхности жидкого чугуна. После того как чугун в горне накопился, жидкий чугун выпускается через находящиеся внизу от-

верстия – летки. В первую очередь через верхнюю летку выпускается шлак, а затем, через нижнюю летку – чугун. По специальным каналам чугун сливается в размещенные на железнодорожных платформах ковши и транспортируется на дальнейшую обработку. Чугун выпускают из печи периодически (6–8 раз в сутки). Вместе с чугуном из печи вытекает шлак, который называют нижним. Верхним называют шлак, который выпускают через шлаковые летки. Литейный чугун, который в дальнейшем будет использован для производства отливок, попадает в разливочный аппарат и, застывая, превращается в бруски – чушки.

Для производства стали используется чугун, который называется переделочным – он составляет до 80% производства. Переделочный чугун транспортируется в сталелитейный цех с конверторами, мартеновскими или электрическими печами. В современных, огромного размера домнах для поддержания процессов горения используется не только потоки горячего воздуха, но и чистый кислород, применяемый вместе с природным газом. Такая технология позволяет расходовать меньшее количество кокса, но является технологически более сложной. Поэтому для контроля процесса производства, выбора оптимальных режимов плавки используются компьютеры, способные вести одновременный анализ работы всех систем.

Вспомогательные устройства доменных печей должны быть надежны в работе для бесперебойного обслуживания печей в течение 5–7 лет. К их числу относятся: подъемные и загрузочные механизмы, литейные двory и под-

доменники, воздухонагреватели (рис. 2.3), воздухоуд-
ные машины и газоочистители.

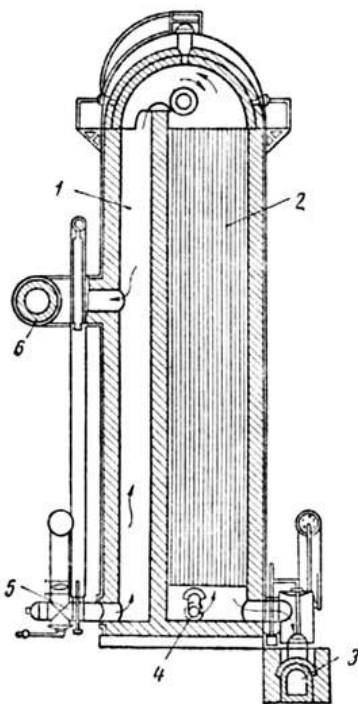


Рис. 2.3. Схема воздухонагревателя

Воздухонагреватели предназначены для нагрева поступающего в доменную печь воздуха с целью ускорения процесса плавки путем получения в горне высокой температуры при меньшем расходе топлива. Действие воздухонагревателя следующее. Нагрев производится сжиганием доменного газа, поступающего в горелку 5, где газ смешивается с воздухом и сгорает. Пламя поднимается по камере 1, проходит через каналы кирпичной на-

садки, раскаляет ее и выпускается через дымовую трубу 3. После нагрева насадки ~ до 1500 °С через устройство 4 вводят наружный воздух. Проходя через насадку, он нагревается до 1000–1200 °С и поступает в доменную печь.

Современные доменные печи – отражение исследований и конструкторских разработок не одного поколения ученых-металлургов, проектировщиков, специалистов-практиков. Печи рассчитаны на работу с избыточным давлением газа под колошником до 0,25 МПа с содержанием кислорода в дутье (природном газе) 30–35 % и температурой дутья 1200–1300 °С и имеет следующие особенности. Усовершенствованный профиль печи характеризуется увеличенной высотой горна (4600 мм) и следующими рациональными отношениями: $H_0/d_p = 2,49$, $d_p/d_r = 1,108$ и $d_k/d_p = 0,669$. Печь имеет 32 воздушные фурмы и четыре чугунные летки; шлаковой летки не предусмотрено.

Огнеупорная кладка печи выполнена с жесткими допусками по толщине швов. Углеродистые блоки на стыке горна и лещади имеют двустенную конструкцию с перевязкой вертикальных и горизонтальных швов, что надежно предотвращает прорывы чугуна через стены горна. Огнеупорная футеровка чугунных леток выполнена из углеродистых блоков, поэтому применяется только безводная леточная масса. Нижняя часть лещади выложена графитированными углеродистыми блоками, верхняя часть на периферии – углеродистыми блоками, центр – высокоогнеупорными муллитовыми изделиями. В кладке верхней части горна применяются каолиновые изделия.

Запечки, распар и шахта печи футерованы каолиновым и шамотным кирпичом.

Доменная печь охлаждается технической водой, лещади – воздухом. Снизу в лещади заложены чугунные плитовые холодильники толщиной 180 мм с залитыми трубами, по которым проходит воздух (60 тыс. м³/ч) от двух дутьевых вентиляторов (из которых один резервный), расположенных в здании под литейным двором. Периферия лещади и горна охлаждается гладкими плитовыми холодильниками. Холодильники в районе чугунных леток выполнены утолщенными и состоят из двух рядов холодильных труб. В фурменной зоне и верхнем ряду запечки смонтированы ребристые холодильники с залитым кирпичом, в нижнем ряду запечки, распаре и охлаждаемой части шахты – ребристые холодильники без залитого кирпича.

Холодильники верхнего пояса шахты имеют самостоятельно охлаждаемые выступы, образующие горизонтальное опорное кольцо для поддержания верхней неохлаждаемой части шахты. В расположенных ниже поясах шахты холодильники с выступами установлены в шахматном порядке.

Защитные плиты колошника коробчатого типа футерованы шамотным кирпичом и крепятся к кожуху кронштейнами.

Кожух печи выполнен самонесущим из высокопрочной ЭШП стали 16Г2АФ. Его максимальная толщина 40 мм.

Доменная печь не имеет колонн. Колошниковое устройство опирается на каркас здания литейного двора.

Для наблюдения за воздушными фурмами и их обслуживания запроектирована и построена кольцевая площадка шириной 5 м, позволяющая использовать напольный транспорт (электрокары) для смены элементов фурменных приборов. Эта площадка одновременно служит укрытием над чугунными летками и участками главных желобов.

На доменной печи установлено бесконусное загрузочное устройство с вращающимся распределительным лотком. Приводы вращения лотка обеспечивают его движение в процессе выгрузки шихтовых материалов в печь при постоянном и переменном углах наклона лотка, делая возможным любое требуемое распределение материалов на колошнике печи и способствуя достижению оптимального использования восстановительной способности газа и ровного хода печи. Для охлаждения оборудования загрузочного устройства (редуктора вращения и изменения угла распределительного лотка и узла шихтовых затворов) постоянно подается азот под давлением, несколько превышающим давление газа под колошником, для предотвращения проникновения пыли. Кроме того, азот подается для обдува контактных поверхностей уплотнительных клапанов, выравнивания давления (додавливания) в бункерах загрузочного устройства и продувки их. Режим додавливания обеспечивает требуемую разницу давлений в печи и бункере в пределах 5–10 кПа. Продувка бункеров

азотом предусмотрена для безопасной работы загрузочно-го устройства и уменьшения выбросов пыли в атмосферу.

2.2. Процедура доменного процесса плавки чугуна

Доменная печь работает по принципу противотока (рис. 2.4).

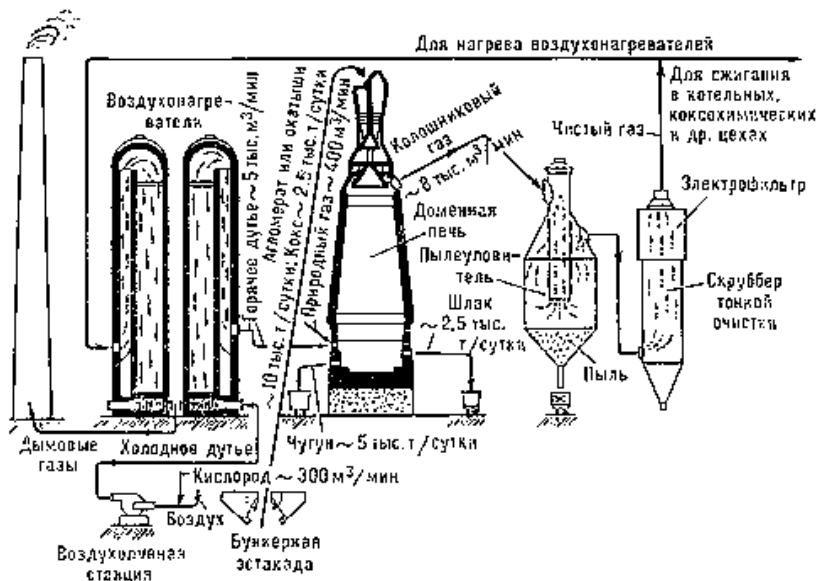


Рис. 2.4. Работа доменной печи

Шихтовые материалы загружают сверху, и по мере сгорания топлива и плавления руды они опускаются вниз. Навстречу им движется поток горячих газов. Условно процесс, протекающий в доменной печи, разделяют на следующие этапы: горение углерода топлива, разложение компонентов шихты, восстановление оксидов, науглероживание железа и шлакообразование. Эти этапы процесса про-

ходят в печи одновременно, переплетаясь друг с другом, но с разной интенсивностью, на разных уровнях печи.

Высокая эффективность доменного процесса обусловлена рациональной организацией противотока материалов и газов в доменной печи. При опускании вниз загруженные на колошник холодные материалы непрерывно омываются движущимися вверх горячими восстановительными газами, образующимися в горне при сжигании топлива в кислороде дутья. За время движения материалов сверху вниз успевают произойти все физико-химические превращения, обуславливающие получение чугуна и шлака.

Процесс производства чугуна в доменной печи состоит из следующих этапов:

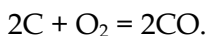
- формирование запаса шихтовых материалов на бункерной эстакаде;
- набор и подача шихты на колошник;
- загрузка шихтовых материалов в доменную печь;
- нагрев дутья и подача его в доменную печь;
- подача природного газа в печь;
- выплавка чугуна;
- выпуск продуктов плавки;
- очистка доменного газа.

Доменный процесс является восстановительным и противоточным, заключающимся во взаимодействии шихтовых материалов, опускающихся вниз, и поднимающегося вверх потока горячих восстановительных газов.

Основные химические процессы в доменной печи – горение топлива и восстановление Fe, Si, Mn и др. элемен-

тов. Часть кокса расходуется на процессы восстановления, но основное количество опускается в горн и сгорает вместе с вдуваемым топливом у фурм. Газы с температурой 1600–2300 °С, содержащие 35–45% СО, 1–12% Н₂ и 45–65% N₂, поднимаясь по печи, нагревают опускающуюся шихту, при этом СО и Н₂ частично окисляются до СО₂ и Н₂О. Газы, выходящие из печи, имеют температуру 150–300 °С.

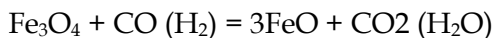
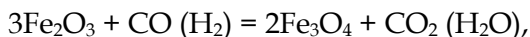
Горение у фурм. У фурм доменной печи возникают очаги горения, называемые окислительными зонами, в которых происходит вихревое движение газов. Горение кокса развивается на поверхности контакта твёрдой и газообразной фаз. При этом кислород соединяется с углеродом в сложные комплексы СхОу, которые затем распадаются. В упрощённом виде суммарный процесс горения углерода твёрдого топлива у фурм сводится к экзотермической реакции:



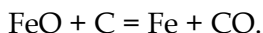
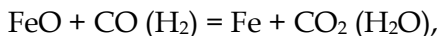
При вдувании природного газа или мазута, в которых главной составляющей являются углеводороды (например, метан), протекает реакция с выделением СО и Н₂; при этом поглощается значительная часть тепла, выделяемого при сжигании С, а следовательно, понижается температура горения у фурм. Во избежание этого необходимо повышать температуру дутья и обогащать его кислородом. Положительное влияние вдувания углеводородных топлив – в повышении концентрации водорода в газе и улучшении благодаря этому его восстановительной способности.

Восстановление железа и других элементов. В доменной печи Cu, As, P, подобно Fe, восстанавливаясь, почти полностью переходят в чугуны. Полностью восстанавливаются и Zn, который затем возгоняется, переходит в газы и отлагается в порах кладки, вызывая её разрушение. Те элементы, которые образуют более прочные соединения с кислородом, чем Fe, восстанавливаются частично или совсем не восстанавливаются: V восстанавливается на 75–90%, Mn на 40–75%, Si и Ti в небольших количествах, а Al, Mg и Ca не восстанавливаются.

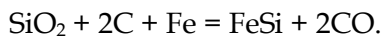
Путём последовательного отщепления кислорода по реакциям:



происходит восстановление поступающих в доменную печь окислов Fe_2O_3 и Fe_3O_4 . Закись железа FeO восстанавливается до Fe газами (косвенное восстановление) и углеродом (прямое восстановление):



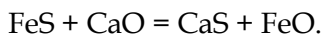
Высшие окислы марганца MnO_2 , Mn_2O_3 и Mn_3O_4 восстанавливаются газами с выделением тепла. В дальнейшем MnO восстанавливается до Mn только углеродом с затратой тепла примерно в 2 раза большей, чем при восстановлении Fe. Si также восстанавливается только C при высоких температурах по эндотермической реакции:



Степень восстановления Si и Mn зависит в основном от расхода кокса; на каждый процент повышения содержа-

ния Si в чугуна расход кокса увеличивается на 5–7%, что увеличивает количество горячих газов в печи, вызывая перегрев шахты. Обогащение дутья кислородом, обеспечивая высокий нагрев горна, уменьшает количество образующихся газов, а следовательно, и температуру в шахте печи.

Сера в доменном процессе. Сера S вносится в доменную печь в основном коксом и переходит в газы в виде паров (SO₂, H₂S и др.), но большая часть остаётся в шихте (в виде FeS и CaS); при этом FeS растворяется в чугуне. Для удаления S из чугуна необходимо перевести её в соединения, не растворимые в чугуне, например, в CaS:



Это достигается образованием в доменной печи жидкоподвижных шлаков с повышенным содержанием CaO. Восстановительная среда благоприятно влияет на этот процесс, так как снижает содержание FeO в шлаке. Степень обессеривания достаточно высока и только в некоторых случаях чугуны дополнительно обессериваются вне доменной печи различными реагентами.

Образование чугуна и шлака. Восстановленное в доменной печи Fe частично науглероживается в твёрдом, а затем в жидком состояниях. Содержание C в чугуне зависит от температуры чугуна и его состава. Шлак состоит из невосстановившихся окислов SiO₂, Al₂O₃ и CaO (90–95%), MgO (2–10%), FeO (0,1–0,4%), MnO (0,3–3%), а также 1,5–2,5% S (главным образом в виде CaS). Для характеристики шлаков пользуются обычно показателем основности CaO/SiO₂ или (CaO + MgO)/SiO₂. Основность CaO/SiO₂

для разных условий плавки колеблется в пределах 0,95–1,35%. При выплавке чугуна на коксе с повышенным содержанием S (донецкий кокс) работают на шлаках с верхним пределом основности и стремятся обеспечить содержание MgO в шлаке 6–8% и более, улучшая его жидкоподвижность.

Образующееся в печи металлическое железо находится сначала в твердом виде (губчатое железо), поскольку имеет высокую температуру плавления. В присутствии окиси углерода губчатое металлическое железо постепенно взаимодействует с углеродом, науглероженное железо (1,8–2,0% C) переходит в жидкое состояние и стекает каплями между кусками раскаленного кокса на лещадь печи. Во время перемещения капельки железа дополнительно насыщаются углеродом до, примерно, 3,5–4,0% C, то есть до обычного содержания углерода в жидком чугуне. Одновременно с восстановлением и науглероживанием железа происходит восстановление из шихты других элементов (Mn, Si, P), которые также переходят в чугун.

В работающей печи шихтовые материалы непрерывно опускаются по всему сечению печи, освобождая объем на колошнике для новых порций шихты. Причинами опускания материалов являются:

- 1) горение кокса перед фурмами и образование в результате этого свободного пространства, в которое поступает кокс, находящийся выше очагов горения;
- 2) уменьшение объема материалов вследствие уминки, обусловленной размещением мелкой фракции в пустотах между кусками, измельчением и истиранием кусков;

3) переход в нижней части шахты, в распаре и заплечиках твердых материалов в жидкое состояние;

4) выпуск из печи чугуна и шлака.

Продуктами доменной плавки являются *чугун* и побочные продукты – *газы, шлаки и пыль*.

Чугун выпускается, в основном, двух типов – передельный и литейный. Они отличаются содержанием примесей (в литейном их больше).

Передельный чугун подразделяют на три вида:

- Передельный коксовый (марки М1, М2, М3, Б1, Б2).
- Передельный коксовый фосфористый (МФ1, МФ2, МФ3).
- Передельный коксовый высококачественный (ПВК1, ПВК2, ПВК3).

Передельный чугун служит сырьем для получения стали, а литейный поступает на изготовление малоответственных чугунных деталей.

Литейный чугун после выпуска из доменной печи разливают в чушки и в холодном виде направляют на машиностроительные заводы, где для отливки деталей машин его вторично подвергают расплавлению в специальных печах – вагранках.

Литейный коксовый чугун выплавляют семи марок: ЛК1 – ЛК7. Каждую марку подразделяют на три группы по содержанию марганца, пять классов по содержанию фосфора и на пять категорий по содержанию серы.

В доменной печи выплавляют также специальные чугуны (фосфористый, зеркальный) и ферросплавы – ферромарганец и ферросилиций.

Режим работы печи – непрерывный с периодическими остановками для проведения ремонтно-восстановительных работ.

Доменная печь выплавляет в основном передельный чугун, направляемый в мартеновский и конвертерные цеха, и литейный чугун, направляемый на разливочные машины. Шлак от доменной печи убирается шлаковозами и затем перерабатывается в цехе шлакопереработки.

Доменный газ после очистки от колошниковой пыли (которая используется в агломерационном производстве) используется в качестве топлива для обогрева воздухонагревателей доменных печей, на ТЭЦ и прокатными цехами.

2.3. Интенсификации доменного процесса плавки чугуна

Основными методами интенсификации доменного процесса являются:

1. Совершенствование способов подготовки и улучшение качества сырых материалов.
2. Высокотемпературный нагрев дутья.
3. Увлажнение дутья.
4. Обогащение дутья кислородом.
5. Вдувание в горн углеводородосодержащих добавок.
6. Комбинирование дутья.
7. Повышение давления газов в рабочем пространстве доменной печи.

Наиболее важной по своему значению является подготовка сырья к плавке. Ни один из методов интенсификации доменного процесса, перечисленных выше, не мо-

жет дать максимального эффекта при плохом качестве сырья.

Нагрев дутья. Впервые нагретое дутье в доменном производстве применили в 1829 г. Несмотря на сравнительно невысокий нагрев дутья (150 °С), показатели работы печи значительно улучшились: относительный расход горючего уменьшился на 30%, производительность печи возросла, появилась возможность увеличить количество дутья. При этом расход горючего на нагрев дутья был намного ниже полученной экономии. Впоследствии применение более нагретого дутья (350–400 °С) на коксовых доменных печах позволило уменьшить относительный расход кокса на 25–35%. В настоящее время дутье нагревают до 1100–1200 °С и выше. За всю историю существования доменного производства ни одно мероприятие не дало такого снижения расхода горючего, как применение нагретого дутья.

Увлажнение дутья. Естественная влажность воздуха колеблется в значительных пределах как в течение суток, так и по временам года. Колебания влажности дутья вызывают изменения в тепловом и температурном режиме горна и в ходе восстановления, что нередко приводит к расстройствам хода печи, ухудшая технико-экономические показатели. Устранить колебания естественной влажности можно двумя способами: осушением дутья и увлажнением дутья в таких пределах, чтобы влажность его была несколько выше естественной, но постоянной во времени.

Обогащение дутья кислородом. При обогащении дутья кислородом изменяются следующие показатели:

1. Уменьшается расход дутья на единицу сжигаемого у фурм углерода.
2. Уменьшается количество горнового газа на единицу сжигаемого у фурм углерода.
3. Повышается концентрация оксида углерода в горновом газе.
4. Значительно возрастает температура в зоне горения.

При обогащении дутья кислородом снижается перепад давления газов между горном и колошником вследствие уменьшения выхода горнового газа на единицу сжигаемого углерода и скорости движения газов в столбе шихтовых материалов.

Вдувание в горн природного газа и других добавок к дутью. При вдувании природного газа в количестве 70–90 м³ на 1 т чугуна расход кокса уменьшается на 10–14%. Экономия кокса при вдувании природного газа достигается за счет:

1. Увеличения непрямого и уменьшения прямого восстановления.
2. Замены части углерода кокса углеродом природного газа.
3. Уменьшения прихода серы в печь, основности и выхода шлака вследствие уменьшения расхода кокса, вызываемого первыми двумя факторами.

Комбинированное дутье. Комбинированным принято называть дутье, включающее добавки как в виде окислителей (кислород, пар), так и восстановителей (природный газ, коксовый газ, мазут, пылеугольное топливо и др.). Наибольшее распространение получило сочетание

обогащения дутья кислородом с вдуванием природного газа. Основной положительный эффект при вдувании природного газа состоит в значительном сокращении расхода кокса, а при обогащении дутья кислородом – в увеличении производительности печи. Но достижение возможного эффекта при вдувании природного газа ограничивается его отрицательными сторонами – увеличением количества горнового газа с понижением температуры в горне, а достижение возможного эффекта обогащенного кислородом дутья ограничивается, наоборот, чрезмерным повышением температуры в горне.

Повышение давления газа. Идея работы доменной печи на повышенном давлении газов была выдвинута с целью улучшения восстановительной способности газов. Однако положительное действие повышенного давления проявляется не в улучшении восстановительной способности газов, а в улучшении газодинамического режима доменной печи, при котором возможно значительное повышение производительности и снижение расхода кокса. Повышение давления газа внутри доменной печи достигается путем пережима струи газа при помощи специального дроссельного устройства, установленного в газопроводе очищенного от пыли газа. Положительное действие повышенного давления газа заключается в том, что с увеличением давления уменьшается объем газа и его скорость, вследствие чего уменьшаются подъемная сила газа и перепад давления газа между горном и колошником. Это позволяет увеличивать массовое количество дутья, не превышая его критического объема.

Контрольные вопросы к главе 1

1. Назовите основные части доменной печи.
2. Назовите основные зоны доменной печи.
3. Что называют шлаками?
4. Для чего служит колошник, горн?
5. В какой части печи происходят процессы размягчения и восстановления железа?
6. Какова функция фурм?
7. Какой продукт образуется в верхней части горна, где приток кислорода достаточно велик и кокс сгорает?
8. Напишите формулу преобразования окислов железа в чугун.
9. Для какой цели служит засыпной аппарат?
10. По какому принципу работает доменная печь?
11. Из каких этапов состоит процесс производства чугуна в доменной печи?
12. Назовите основные химические процессы в доменной печи.
13. В чем заключается различие прямого и косвенного восстановления железа в доменной печи?
14. Назовите причины опускания материалов по всему сечению доменной печи.
15. Что является продуктами доменной плавки?
16. Каких типов выпускается чугун?
17. Чем отличается литейный чугун от пердедельного?
18. Назовите основные методы интенсификации доменного процесса.
19. Какие показатели изменяются при обогащении дутья доменной плавки кислородом?
20. Что изменяется при вдувании природного газа в дому, в том числе с повышенным давлением?

БИБЛИОГРАФИЯ

1. ON THE PROBLEM OF THE THREE-DIMENSIONAL FLOW OF METAL UPON OPEN FORGING / V.A. Belevitin, V.F. Obesnyuk, E.R. Logunova // Russian metallurgy (Metally). 2003. – № 1. – С. 21–25.
2. О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ДИАМЕТРОВ ВАЛКОВ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ / Р.М. Голубчик, В.К. Воронцов, В.А. Белевитин // Сталь. 1982. – № 8. – С. 64–66.
3. К ПОСТАНОВКЕ И РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 4. – С. 75–80.
4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКОЙ КАДРОВ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ / С.А. Богатенков, Е.А. Гнатышина, В.А. Белевитин. – Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 155 с.
5. Белевитин, В.А. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ: учеб. - метод. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. гуман. - пед. ун-та, 2017. – 122 с.
6. МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ: РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ И ЗАЩИТЕ: учеб.-методич. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. гуман.- пед. ун-та, 2016. – 158 с.
7. ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НА РУБЕЖЕ ВЕКОВ: колл. монография / Е.А. Гнатышина,

- Г.А. Герцог, А.В. Савченков, Л.П. Алексеева, Н.В. Уварина, Е.В. Гнатышина, Н.Ю. Корнеева, В.А. Белевитин. Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. пед. ун-та, 2014. – 304 с.
8. Белевитин, В.А. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ: учеб. пособие / В.А. Белевитин / Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. пед. ун-та, 2012. – 236 с.
9. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК / А.А. Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1990. – № 12. – С. 26–28.
10. БЕСКОНТАКТНЫЙ ОДНОКАНАЛЬНЫЙ ВРЕЯИМ-ПУЛЬСНЫЙ РАСХОДОМЕР ЖИДКОСТИ / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Е.В. Бражникова, Е.Л. Иванов // Метрология. 2004. – № 11. – С. 16.
11. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОВАННЫХ ВАЛОВ / В.А. Белевитин, Н.И. Бражников // Сталь. 2000. – № 4. – С. 47–48.
12. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ПОВЫШЕННОЙ ТВЕРДОСТИ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ / А.И. Серов, Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.А. Белевитин // Обогащение руд. 2017. – № 3 (369). – С. 15–20.
13. СКВОЗНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОДУКТА И ПРЕССОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ТИПОВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ООО «АЛТЕК» / Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, М.В. Митрофанов, О.Е. Смирнов, В.А. Белевитин, А.Н. Смирнов // Металлург. 2017. – № 10. – С. 49–53.
14. Смирнов, Е.Н. Развитие подходов к исследованию на физических моделях механизмов «залечивания» дефектов

- сплошности осевой зоны непрерывно-литой заготовки / Е.Н. Смирнов, В.А. Склиар, В.А. Белевитин, Р.А. Шмыгля, О.Е. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2016. – Т. 59. – № 5. – С. 322–327.
15. Smyrnov, Y.N. Physical and Computer modeling of new soft reduction Process of continuously cast blooms / Y.N. Smyrnov, V.A. Belevitin и др. // Journal of Chemical Tecnology and Metallurgy, 2015. – 50. – № 6. – P. 12–17.
16. AN ULTRASOUND METHOD FOR CONTROLLING THE QUALITY OF SHAPED FORGINGS / I.P. Belevitina, N.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin // Metallurgist. 1996. – Т. 39. – № 10. – С. 198.
19. DEFECT HEALING IN THE AXIAL ZONE OF CONTINUOUS-CAST BILLET / Y.N. Smyrnov, V.A. Skliar, V.A. Belevitin, R.A. Shmyglya, O.Y. Smyrnov // Steel in Translation. 2016. – Т. 46. – № 5. – С. 325–328.
20. PHYSICAL AND COMPUTER MODELING OF NEW SOFT REDUCTION PROCESS OF CONTINUOUSLY CAST BLOOMS / Y.N. Smyrnov, V.A. Belevitin, V.A. Skliar и др.// Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2015. – Т50. – №6. – С. 12.
21. Belevitin, V.A. SIMULATION OF THE MACROSTRUCTURE INFLUENCE OF FORGING INGOTS ON THE POTENTIAL CAPABILITIES OF OBTAINING HIGH-QUALITY FORGINGS / V.A. Belevitin, Y.N. Smyrnov, S.Y. Kovalenko, A.V. Suvorov // Metallurgical and Mining Industry. 2016. – № 7. – С. 18-23.
22. CHEMICAL COMPOSITION OF THE CONDITIONED AND NONCONDITIONED NIGNEUVELYSKAYAS CLAY CHELYABINSK REGION / A.A. Sherbakov, M.S. Klepikov, N.F. Solodkii, A.S. Serikov, V.V. Rukavishnikov, V.M.

Zhestkov, Belevitin V.A. // Башкирский химический журнал. 2011. – Т. 18. – № 4. – С. 236–239.

23. Белевитин, В.А. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ: учеб. пособие / В.А. Белевитин. Челябинск, Челяб. гос. пед. ун-т. 2012.

24. Белевитин, В.А. ОПЕРАЦИОННО-ЗАЧЕТНЫЕ РАБОТЫ ПО ОБЩЕСЛЕСАРНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ: сб-к лаб. работ / В.А. Белевитин, А.В. Суворов, Е.П. Меркулов. Челябинск, Челяб. гос. пед. ун-т. 2015.

26. Воронцов, В.К. К ПОСТАНОВКЕ И РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 4. – С. 75–80.

27. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОЛИТА Н.И. БРАЖНИКОВА / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Ф.И. Бражников и др. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2005. – № 3. – С. 54–56.

28. О МОДЕЛИРОВАНИИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ РАСКАТОВ С НЕРАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СЕЧЕНИЮ НА ПЛАСТИЛИНОВЫХ МОДЕЛЯХ / А.А. Минаев, Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1992. – № 4. – С. 57–59.

29. АКУСТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СВОЙСТВ УПРУГИХ И ТВЕРДЫХ СРЕД В ТЕХНИКЕ: монография / Н.И. Бражников, В.А. Белевитин, Е.В. Бражникова. Челябинск, Челяб. гос. пед. ун-т. 2012.

30. Воронцов, В.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ПРОКАТЕ КВАДРАТНОЙ ПОЛОСЫ В

- ОВАЛЬНОМ КАЛИБРЕ / В.К. Воронцов, Ю.С. Атеф, В.В. Бринза, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1977. – № 5. – С. 101-105.
31. ULTRASONIC CONTROL OF THE FLUID-FLOW VELOCITY WITHOUT N. I. BRAZHNIKOV'S UNDOCKING OF A PIPELINE / A.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin, F.I. Brazhnikov, E.L. Ivanov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2006. – Т. 79. – № 2. – С. 345-353.
32. Belevitin, V.A. PRESSURE TREATMENT OF METALS MONITORING THE THICKNESS OF SUPERTHIN STEEL BY MEANS OF UD2-12 DEFECTOSCOPES / V.A. Belevitin, A.I. Brazhnikov, E.L. Ivanov, A.K. Tarelkin // Steel in Translation. 2006. – Т. 36. – № 1. – С. 40-42.
33. Belevitin, V.A. CONTRIBUTION OF URAL METAL INDUSTRY TO ECONOMICS OF RUSSIA / V.A. Belevitin // Сталь. 2001. – № 9. – С. 125-128.
34. Автомобильные эксплуатационные материалы: сб-к лабор. работ / А.Г. Карпенко, К.В. Глемба, В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во : Челяб. гос. пед. ун-та, 2014. – 104 с.
35. Белевитин, В.А. Материаловедение: неметаллические материалы: учеб. пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 109 с.
36. Руднев, В.В. Моделирование ресурсов повышения экологической безопасности крупных городов [Текст]: монография / В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 88 с.: ил.
37. Технология конструкционных материалов: обработка металлов давлением: учеб пособие / В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов. – Челябинск: Изд-во Челябин. гос. пед. ун-та, 2015. – 184 с.: ил.

38. Самойлик, В.Г. Специальные и комбинированные методы обогащения полезных ископаемых: учеб. пособие / В.Г. Самойлик. Донецк: Изд-во ООО «Східний видавничий дім», 2015. – 165 с.
39. Казармщиков, И.Т. Производство металлических конструкционных материалов: учеб. пособие [Текст] / И.Т. Казармщиков. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 247 с.
40. Gafarova, E.A. Modeling educational process optimization in the development of individual creativity by extending modality skills of the learners / E.A. Gafarova, V.A. Belevitin, Y.N. Smyrnov // Mechanics and Advanced Technologies, 2017, № 2 (80). P. 25–30.
41. Белевитин, В.А. Влияние тернарности представления учебной информации на повышение креативности обучающихся / В.А. Белевитин, Е.А. Гафарова, Ю.В. Корчешкина, ОН. Шварцкоп // European Social Science Journal. 2017. – № 6. – С. 194–200.
42. К РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА МЕТОДОМ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 9. – С. 77–80.
43. MAGNETIC METHOD NONDESTRUCTIVE EXPRESS INSPECTION OF MECHANICAL PROPERTIES / V.A. Belevitin, A.L. Mazurovskij, N.I. Brazhnikov, I.P. Belevitina // Металлург. 1996. – № 11. – С. 34.
44. Белевитин, В.А. Технология конструкционных материалов: производство горячекатаных блюмов и сортовых заготовок: учеб. пособие / Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин, В.А. Складар, В.В. Кисиль. Челябинск: Изд-во ЧГПУ. 2016. – 188 с.

45. Патент на изобретение РФ №2558701 Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
46. Патент на полезную модель РФ № 156309 Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
47. Патент на изобретение РФ № 2570564 Способ изготовления модельного образца для определения деформаций / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
48. Патент на полезную модель РФ № 163039 Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
49. Патент на изобретение РФ № 2616671 Способ изготовления модельного образца для определения деформаций / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
50. Минаев, А.А. Исследование полей деформации при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению / А.А.Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов, О.С. Савицкий // Известия вузов. Черная металлургия. - 1992. - №6. - С.20-24.
51. Минаев, А. А. Скорость течения металла при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению / А.А. Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. - 1993. - № 11-12. - С. 22-25.
52. Минаев, А. А. Демонотонность пластического формоизменения при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению / А. А. Минаев, Е. Н. Смирнов, В. А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. - 1993. - № 6. - С. 34-37.

Учебное издание

Белевитин Владимир Анатольевич

**ТЕХНОЛОГИЯ, МАТЕРИАЛЫ И
ПРОДУКЦИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ**

Учебное пособие

Компьютерная верстка В.А.Белевитин

ISBN 978-5-91283-900-9

Подписано в печать 11.12.2017

Формат 60x84/16

Объем 2,69 уч.-изд. л.

Заказ № 865

Тираж 100 экз.

Издательство ЗАО «ЦИЦЕРО»

454080, г. Челябинск, Свердловский пр-т., 60

Отпечатано с готового оригинал-макета

в типографии ЮУрГТТУ

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69