

## **ЛЕКЦІЯ «Методи огрудкування руд і концентратів. Агломерація»**

**Окускование** – это процесс превращения мелких рудных материалов (руд, концентратов, отходов металлургического производства) в кусковые необходимых размеров, применение которых значительно улучшает показатели работы металлургических агрегатов.

Окускование является заключительным и очень важным этапом подготовки руд к плавке. Окускование может осуществляться тремя методами – агломерация, производство окатышей и брикетирование.

**Агломерацией** называется процесс превращения мелких рудных материалов в куски необходимых размеров путем спекания их за счет сгорания топлива в слое шихты.

**Цель агломерации** - не только окускование железной руды, обеспечение механической прочности продукта, но и введение в состав агломерата флюса, удаление серы, мышьяка, разложение карбонатов, что также позволяет улучшить металлургические свойства доменного сырья, т.е. получить кусковой пористый и офлюсованный материал.

### **1.1 История возникновения**

Агломерация, как способ спекания металлургической шихты с просасыванием через нее воздуха, впервые была предложена в 1887 г. и внедрена в США в 1911 г. на горизонтальной ленточной машине аглофабрики производительностью 540 т/сутки. Вначале, на аглофабрике спекали только колошниковую пыль, а когда были переработаны все отвалы доменного цеха, то начали спекать магнетитовый концентрат. Широкое развитие агломерация получила в 30-х годах XX века.

С 1974 года в мире начали производить офлюсованный агломерат из богатой железорудной мелочи (56...60,5% Fe). Постепенно, начался ввод в эксплуатацию крупных агломашин с площадью спекания до 450 м<sup>2</sup> и с производительностью до 13 тыс.т/сутки.

Много лет агломерация была практически единственным способом окускования, но с появлением технологии окатывания, ее доля снизилась и сейчас составляет 60-70%.

### **1.2 Способы агломерации руд**

- с просасыванием воздуха сверху через слой шихты (способ наиболее распространен и был предложен в 1887 году);
- во вращающихся обжиговых печах, типа печей для обжига известняка или производства цемента;
- во взвешенном состоянии (в “кипящем” слое).

Процесс агломерации – многостадийный и характеризуется следующими особенностями:

- топливо в шихте сгорает без пламени;
- воздушное дутье в процессе прохождения через слой раскаленного агломерата, охлаждая его, нагревается до температуры близкой к температуре самого агломерата;
- тепло продуктов горения горновых газов и коксика передается шихте, благодаря развитой поверхности их контакта.

### **1.3 Шихта агломерации и ее подготовка**

*Типичный состав аглошихты:*

- железосодержащие материалы фракции 8...0 мм – **40...50 %**;
- известняк или доломит ( $\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$ ) фракции 3...0 мм – **15...20 %**;
- возврат (мелкий агломерат) фракции 0...10 мм – **20...30 %**;
- твердое топливо (кокс) фракции 0...3 мм – **4...6 %**;
- влага **7-9%** (сверх 100).
- добавки – марганцевая руда, шлаки сталеплавильного производства, известь (для интенсификации процесса спекания), колошниковая пыль, окалина и т.д.

### **1.4 Схема процесса агломерации**

Технологическая схема агломерационного процесса представлена на рис. 1. **Подготовка аглошихты** производится на механизированных рудоподготовительных комплексах (усреднение компонентов по химическому составу и крупности); пылеподавление компонентов с помощью увлажнения с добавкой поверхностно-активных веществ; точное дозирование.

Особое внимание требуется уделять точности **дозирования** твердого топлива и известняка, т. к. содержание этих компонентов в аглошихте определяет тепловой уровень процесса спекания, величину основности и механическую прочность агломерата. Чаще всего используется объемное дозирование, точность которого составляет  $(\pm 10)\%$  и зависит от уровня заполнения бункера компонентом шихты, (несмотря на более высокую точность весового дозирования –  $(\pm 2)\%$ ).

Перед спеканием шихту смешивают, увлажняют и окомковывают во вращающемся смесительном барабане (силы капиллярного взаимодействия частиц материала), в результате чего из пылевидной шахты получают влажные комочки размером 0,5...5 мм. Меньше размер гранул – снижается газопроницаемость шихты, крупнее – снижается скорость горения топлива.

Окомкованная шихта обладает большей газопроницаемостью. Предварительный подогрев подогрев шихты до температур выше точки росы (до  $80^\circ\text{C}$ ), ввод в шихту (3..6)% обожженной извести ( $\text{CaO}$ ) также повышает ее

газопроницаемость, прочность агломерата и производительность агломашины (до 10%). Следует отметить, что раздельное окомкование топлива (коксика, каменного угля) и железной руды (концентрата) способствует увеличению часовой производительности агломашины, в среднем, на 20%. Топливо и флюс подаются в конце процесса окомкования.

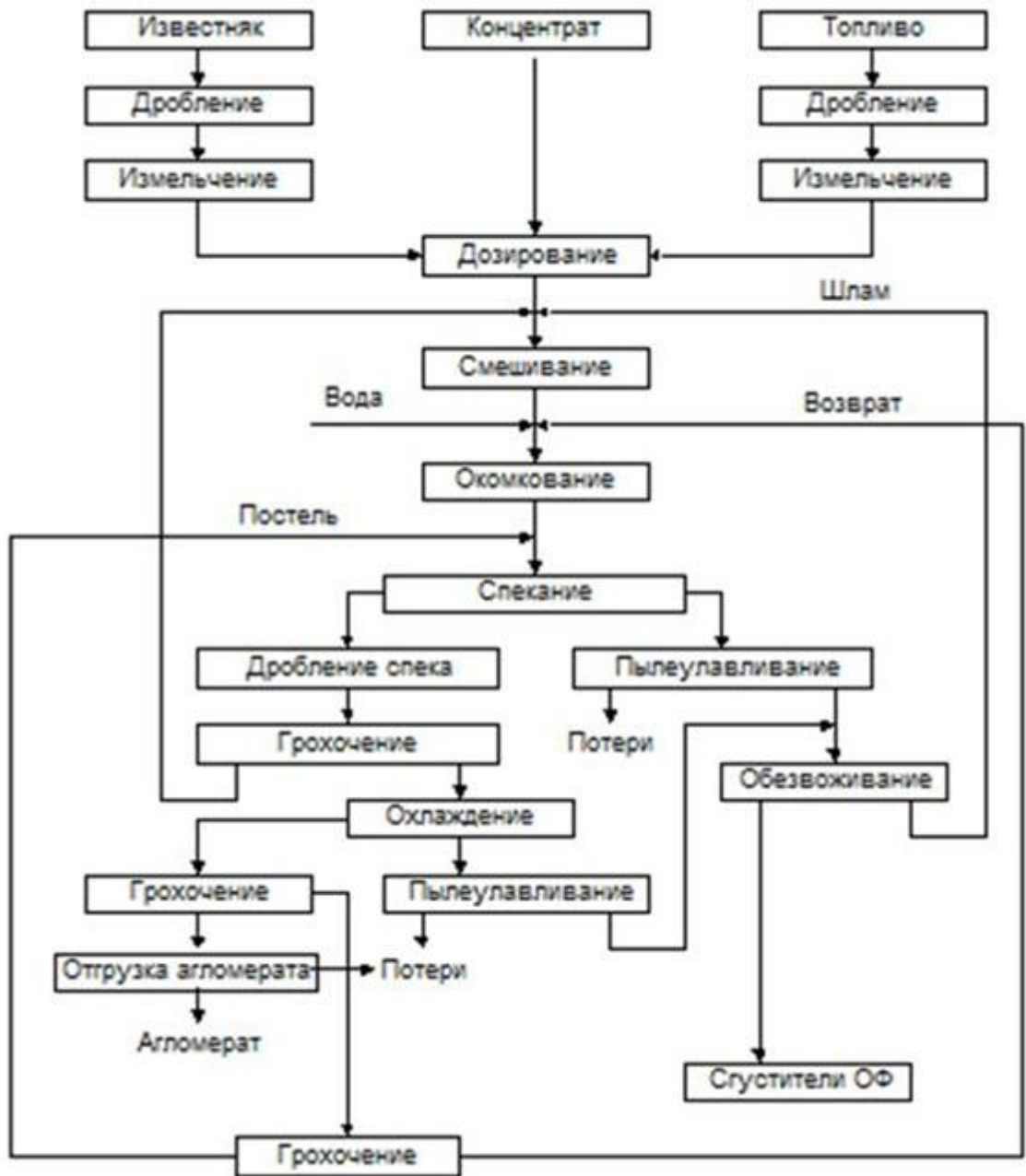


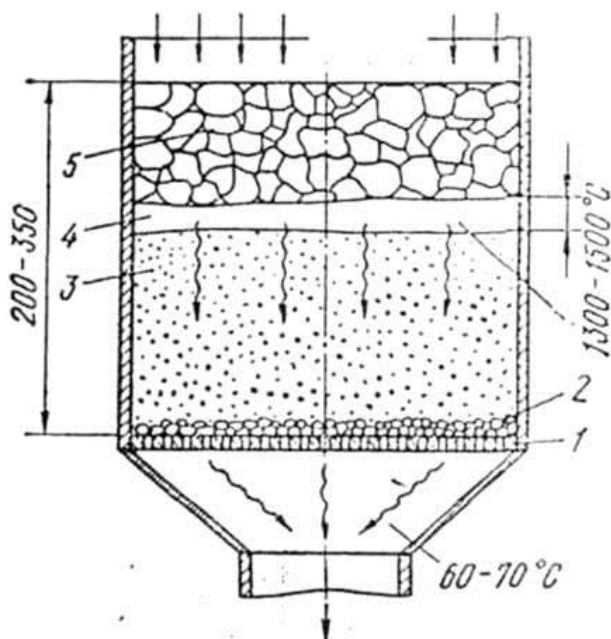
Рисунок 1 – Технологическая схема агломерационного процесса

Вначале, на решетку спекательной (обжиговой) тележки – “паллеты” загружается “постель” (“возврат” агломерата слоем 30...35 мм), затем – слой аглошихты (250...350) мм. Под колосниковыми решетками эксгаустер (дымосос) создает разрежение 7...10 кПа и поэтому наружный (атмосферный)

воздух просасывается через слой шихты. Зажигаются газовые горелки горна машины, отапливаемые природным или другими видами газообразного топлива. Верхний слой шихты (20-30 мм) разогревается до 1200-1300 °С, воспламеняется кокс аглошихты.

В тот момент времени, когда топливо аглошихты поджигается под горном, движущаяся “паллета” оказывается над вакуум-камерой и, в движении, последовательно осуществляются все технологические процессы производства агломерата, описанные ниже (подготовительная, нагрев, агломерация, охлаждение). Горение кокса со скоростью (10...40) мм/мин поддерживается за счет просасывания через аглошихту атмосферного воздуха. Зона горения постепенно перемещается сверху вниз по слою аглошихты до колосников обжиговых тележек.

При достижении зоной горения уровня “постели”, процесс спекания длительностью (10...20) минут заканчивается.



- 1 - колосниковая решетка; 2 - постель; 3 - слой агломерируемой шихты;  
4 - зона горения и спекания; 5 - слой агломерата

**Рисунок 2 -** Схема процесса спекания:

Воздух, засасываемый в агломерационную шихту, нагревается в поверхностном слое и обеспечивает интенсивное горение топлива шихты.

Температура на данном горизонте быстро достигает максимального значения. В результате локальной усадки материала при его плавлении вблизи горящих частичек коксика, диссоциации карбонатов, выгорания коксика, а также интенсивного движения газов через слой

полурасплавленных масс материала, агломерат приобретает пористую структуру.

Горячие газы из зоны формирования агломерата, продолжая двигаться вниз, нагревают материал соседнего слоя, в котором последовательно идут процессы испарения влаги, разложения гидратных и карбонатных соединений. Как только температура материала достигнет 700-800 °С, происходит воспламенение топлива - начинается быстрый разогрев шихты, ее плавление и получение пористого слоя агломерата. К этому времени топливо лежащего выше слоя полностью выгорает, и поступающий непрерывно в слой холодный воздух охлаждает образовавшийся агломерат. Таким образом, зона максимальных температур (зона формирования агломерата) как бы внедряется в слой шихты, составляя за собой слой готового охлаждающегося агломерата.

Агломерационный процесс является одним из самых совершенных по степени использования тепла, так как обеспечивает нагрев рудного материала до высоких температур при сжигании небольшого количества топлива. Несмотря на то, что продолжительность воздействия высоких температур на агломерируемый материал невелика (1,5-2,0 мин), в нем успевают пройти многочисленные химические реакции, которые в значительной степени влияют на формирование агломерата и его физико-химические свойства.

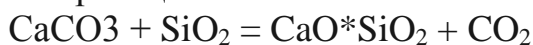
В зоне горения максимальная температура достигает 1500-1600 °С. Продукты сгорания отдают свое тепло нижним слоям и уходят на дымовую трубу с температурой около (60...150)°С.

### **1.5 Физико-химические процессы при агломерации**

Все процессы, происходящие при агломерации, делят на химические и физико-химические. Основные химические:

- 1) Разложение химических соединений и выделение летучих;
- 2) Диссоциация карбонатов  $\text{CaCO}_3 - 905-920 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{MgCO}_3 - 640-660 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{FeCO}_3 - 380-400 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Действительные температуры начала разложения карбонатов еще ниже, в силу высокой скорости газа, просасываемого через слой шихты и уносящего продукты разложения, и поскольку все вещества перемешаны в тонкоизмельченном состоянии между собой. В этом случае разложение карбоната протекает по реакции:

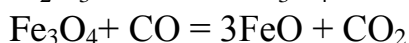
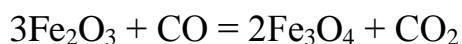


3) Окисление углерода топлива происходит с образованием одновременно  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$  примерно в равных количествах

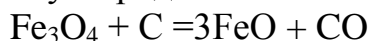


К сожалению, в процессе агломерации весь CO никогда не догорает до CO<sub>2</sub>. Этому способствует быстрое перемещение узкой зоны горения. В отходящих газах содержатся CO, CO<sub>2</sub>, азот, кислород и водород. При спекании офлюсованной шихты соотношение CO<sub>2</sub>/CO в продуктах горения составляет 4,5...6,5 (CO<sub>2</sub> 17-23%, CO 2,8-5,2%). Также в процессе агломерации не создаются условия для полного использования кислорода. Его содержание в отходящих газах составляет 3...5%.

4) процессы восстановления оксидов железа. Условия для них – высокие температуры и наличие CO. Образующаяся окись углерода восстанавливает окислы железа:



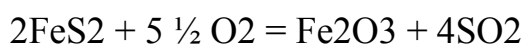
В зоне высоких температур магнитная окись железа восстанавливается до закиси железа также твердым углеродом топлива:



Реакция  $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$  практически не протекает, и содержание железа металлического в агломерате меньше 1%.

Закись железа – вюстит (FeO) при взаимодействии с кислородом воздуха, проходящего через раскаленный агломерат, вновь окисляется до Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (гематит вторичного происхождения).

5) При агломерации значительно выгорает сера (на 80-95%) и частично удаляется мышьяк (на 10-12%), но фосфор не удаляется, а полностью переходит в агломерат.



Основным физико-химическим процессом в спекаемом слое является **процесс спекания:**

- 1) Взаимодействие в твердых фазах, образование новых минералов, перекристаллизация;
- 2) Образование жидких фаз.

В общем виде он представлен так: при нагревании шихты до высоких температур образовывается некоторое количество жидких фаз, которые, растекаясь по твердым частицам, обволакивают и склеивают их.

Известь (CaO), образуемая при термическом разложении известняка (CaCO<sub>3</sub>), соединяясь с окислами железа и кремния, образует легкоплавкие соединения, в частности, железокальцевые оливины – (CaO)<sub>x</sub>(FeO)<sub>2-x</sub>(SiO<sub>2</sub>) с температурой плавления 1130°C. Образующаяся жидкая фаза (особенно, фаялит 2FeO×SiO<sub>2</sub>) пропитывает твердые частицы шихты и химически взаимодействует с ними.

Твёрдость минералов, которые образовались в процессе спекания сильно влияет на прочность агломерата в цедом.

После остывания массы образуется *пористый спек* шихтовых материалов, но для того чтобы закристаллизовавшиеся стекловидные массы обеспечили требуемую механическую прочность агломерата, необходимо обеспечить медленное остывание продукта.

### **1.6 Схема и принцип работы агломерационной машины**

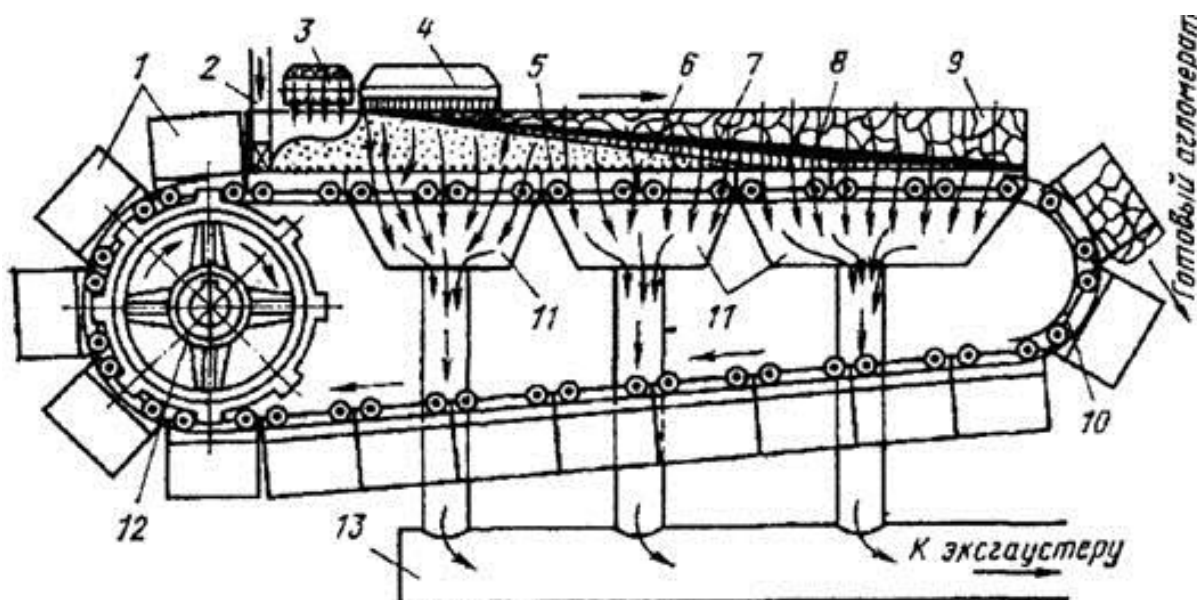
Как указывалось выше, процесс агломерации обычно осуществляется на **агломерационных лентах** (рис. 3), состоящих из колосниковых спекательных тележек, передвигающихся со скоростью (2...12) м/мин по рельсам, закрепленным на металлоконструкциях.

Предусмотрены устройства для загрузки “постели” (2) и шихты (3), а также зажигательный горн (4). При помощи электропривода и редуктора лента движется в направлении, указанном стрелкой. Под “паллетами” расположены вакуумные камеры (11), соединенные с эксгаустером, создающим разрежение до 16 кПа, под действием которого и происходит просос воздуха через слой шихты (2500...3000 м<sup>3</sup>/т агломерата). Для сохранения разрежения, создаваемого эксгаустером, используются гидравлические и пружинные конструкции внешнего уплотнения полозьев “паллет” и коробов вакуум-камер.

Площадь спекания агломерационных машин – (50...800) м<sup>2</sup> при ширине “паллет” (2...8) м. Обычно, агломерат охлаждают в отдельных устройствах, но иногда и на самой ленте, что требует (60...70) м<sup>2</sup> дополнительной площади. Производительность современных машин по площади спекания составляет (1,3...1,5) т×м<sup>2</sup>/ч, т.е. машины ежедневно производят 1 500...10 000 т агломерата. Производительность эксгаустера для крупных агломашин составляет 9500 м<sup>3</sup>/мин. На наиболее крупных агломашинах устанавливают по два эксгаустера.

Для очистки дымовых газов от серы используются специальные устройства, а также организуют производство серной кислоты. Степень очистки газов от пыли – до 0,15 г/м<sup>3</sup> (ниже ПДК).

Замкнутая по всей длине аглолента образована колосниковыми тележками – “паллетами” открытой конструкции (1), находящимися в постоянном контакте друг с другом. Только на ведущей звездочке (12) и на рельсовом пути разгрузочного участка агломашин (10) происходит “излом” ленты “паллет”, необходимый для разгрузки агломерата. После разгрузки, тележки, вновь соприкасаясь друг с другом, под действием собственного веса катятся под уклон к приводной звездочке.



1 - спекательные тележки («паллеты»); 2 - укладчик постели; 3 - челноковый питатель ленты шихтой; 4 - газовый зажигательный горн; 5 - «постель»; 6 - зона сырой шихты; 7 - зона сушки и подогрева шихты; 8 - зона горения твердого топлива; 9 - зона готового агломерата; 10 - разгрузочный участок агломашины; 11 - вакуум-камеры; 12 - ведущая «звездочка» привода ленты; 13 - сборный газопровод.

**Рисунок 3 -** Схема процесса спекания на агломерационной ленточной машине

В общем, агломерационная машина работает следующим образом. Приводные звездочки (12), установленные в головной части машины, захватывают за грузовые ролики спекательные тележки, движущиеся по нижним направляющим металлоконструкции (рамы) агломашины, и передают их на верхний горизонтальный рельсовый путь, где и осуществляется загрузка тележек сначала слоем «возврата» (5) и аглошихтой в два слоя (6).

Зажигание шихты горном (4), работающим на газовом топливе, спекание ее и охлаждение готового агломерата осуществляется за время последовательного прохождения спекательными тележками всех температурных зон агломашины (сушка, горение, спекание, охлаждение), расположенными над вакуум-камерами (11).

Готовый агломерат некоторое время, в движении на «паллетах», охлаждается нагретым, а затем и холодным воздухом, просасываемым эксгаустером через «пирог» для ускорения процесса охлаждения.

В тот момент, когда зона горения топлива достигает слоя «постели» «паллета» с агломератом выходит на разгрузочный участок агломашины (10) и на закруглении рельсового пути опрокидывается. «Пирог» готового агломерата падает на стационарную плиту, а затем на колосниковый грохот (решетку). Фракции с размером более 10 мм направляются в доменный цех, а



более мелкие фракции используются, как “постель” или измельчаются для повторной агломерации, как железосодержащий компонент аглошихты.

Используются различные конструкции оборудования для охлаждения агломерата (кольцевые, ленточные охладители и, в крайних случаях – бассейны с водой, в которых может понизиться механическая прочность агломерата).

Так, в производстве широко распространена машина типа **АКМ-75** площадью спекания 75 м<sup>2</sup>. Ее технические характеристики:

- толщина спекаемого слоя - 300 мм
- количество паллет - 80
- ширина паллеты – 2,5 м
- производительность 75-150 т/час.

### **1.7 Качество агломерата**

*Технико-экономические показатели* работы аглофабрик оцениваются производительностью агломашин и качеством агломерата.

Качество агломерата оценивается следующими параметрами:

- 1) **По химическому составу** – максимальное содержание железа, высокая основность, стабильность химического состава
- 2) **По физико-химическим показателям** – высокая восстановимость, высокая температура начала размягчения, минимальный температурный интервал размягчения;
- 3) **По физическим свойствам** – высокая механическая прочность, низкая истираемость в обычно состоянии и минимальное ухудшение свойств в процессе восстановления, высокая пористость.

В настоящее время получают, как правило, офлюсованный агломерат, чтобы исключить применение известняка в доменной плавке (известняк в измельченном виде вводят в аглошихту). В агломерат иногда вводят известняк в расчете не только на ошлакование SiO<sub>2</sub>; и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> самого агломерата, но и для того, чтобы обеспечить офлюсование золы кокса и других железорудных материалов (например, окатышей) доменной плавки.

Основные преимущества применения офлюсованного агломерата в производстве чугуна:

1. Исключение эндотермической реакции разложения карбонатов требующей тепла, а следовательно, расхода кокса. Этот процесс перенесен на аглоленту, где расходуется менее дефицитное и более дешевое топливо, чем доменный (металлургический) кокс.

2. Улучшение восстановительной способности газов в самой доменной печи, вследствие уменьшения содержания в них двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>), получаемой при разложении карбонатов.

3. Улучшение восстановимости агломерата в результате вытеснения известью окислов железа из трудновосстановимых силикатов железа.

4. Улучшение процесса шлакообразования, так как в офлюсованном агломерате окислы физически плотно контактируют друг с другом.

5. Уменьшение числа компонентов шихты доменной плавки.

В конечном итоге, применение офлюсованного агломерата приводит к сокращению расхода кокса на (6...15)% для производства чугуна.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое окускование?
2. Какие способы окускования вы знаете?
3. Дайте определение понятию «агломерация».
4. Способы агломерации руд.
5. Какие компоненты входят в агломерационную шихту для доменного производства?
6. Перечислите стадии подготовки шихты к спеканию.
7. Физико-химические процессы при агломерации.
8. Схема работы агломерационной машины.
9. Показатели качества агломерата.
10. Преимущества процесса агломерации.