

# Устройство доменной печи

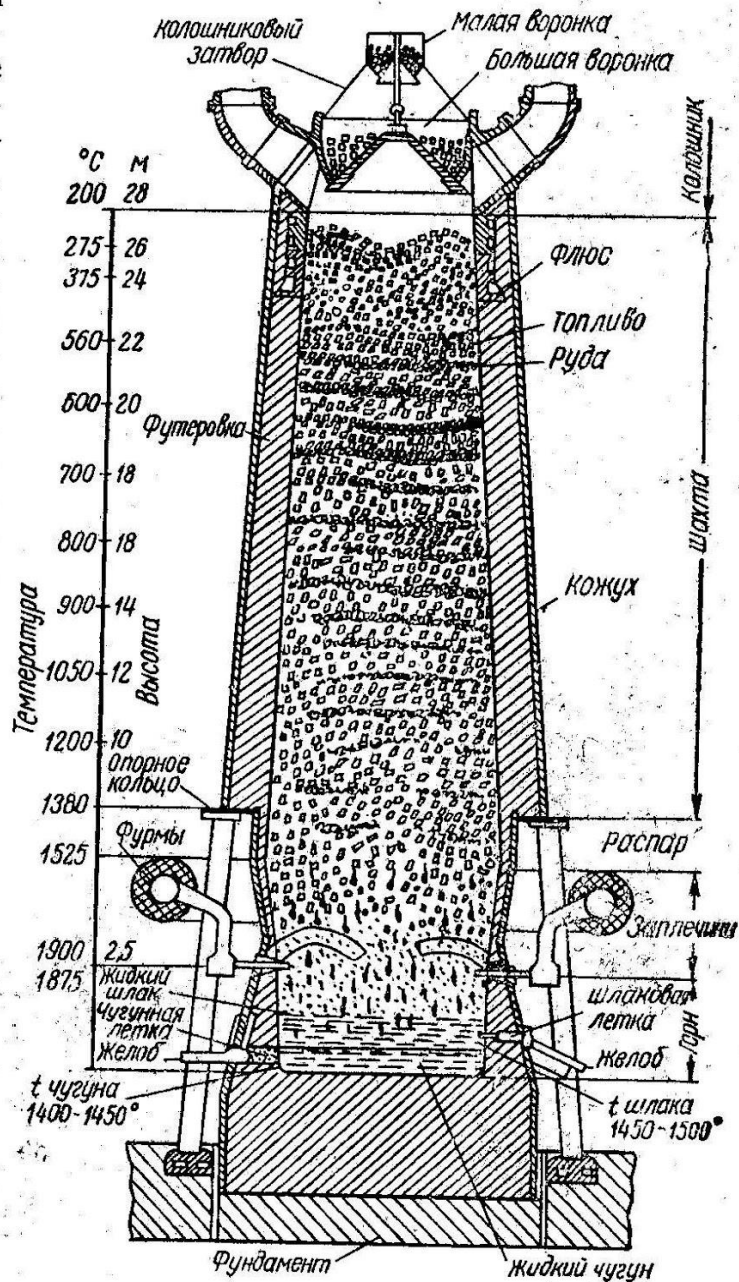
## Доменный процесс

### Продукты доменного производства

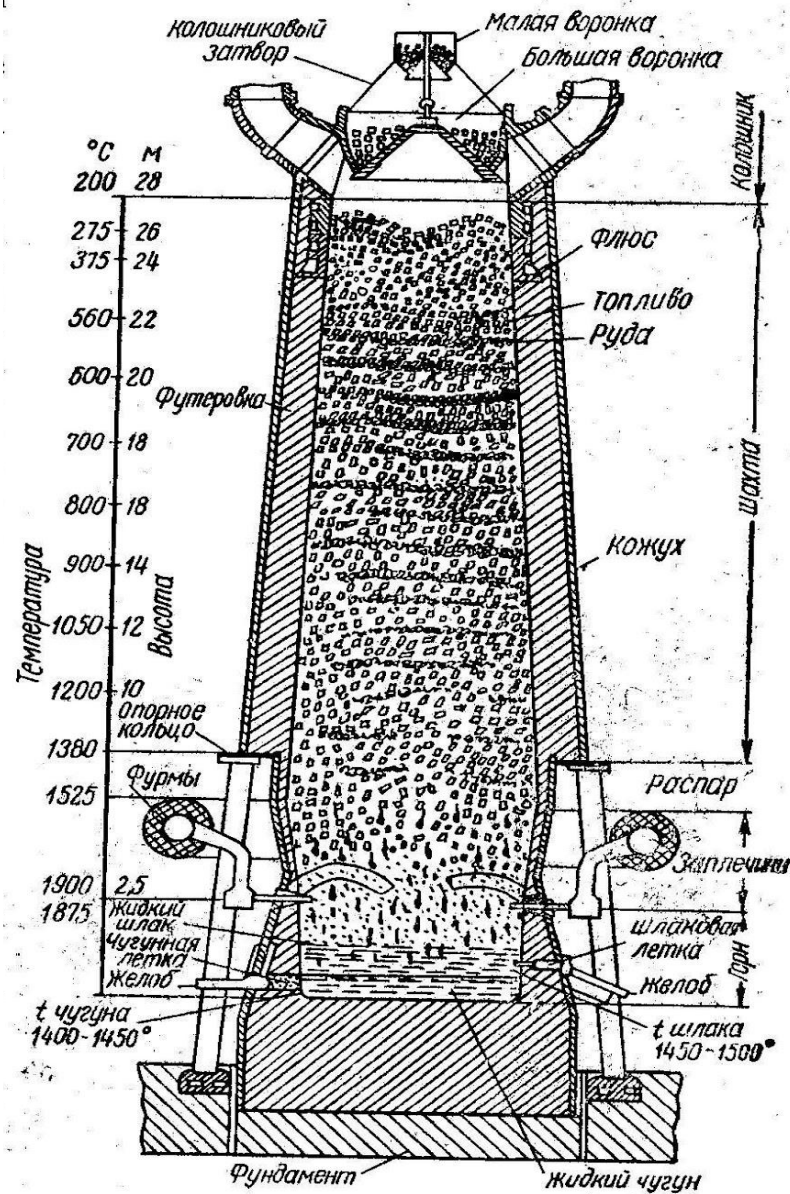


Производство чугуна

# Устройство доменной печи



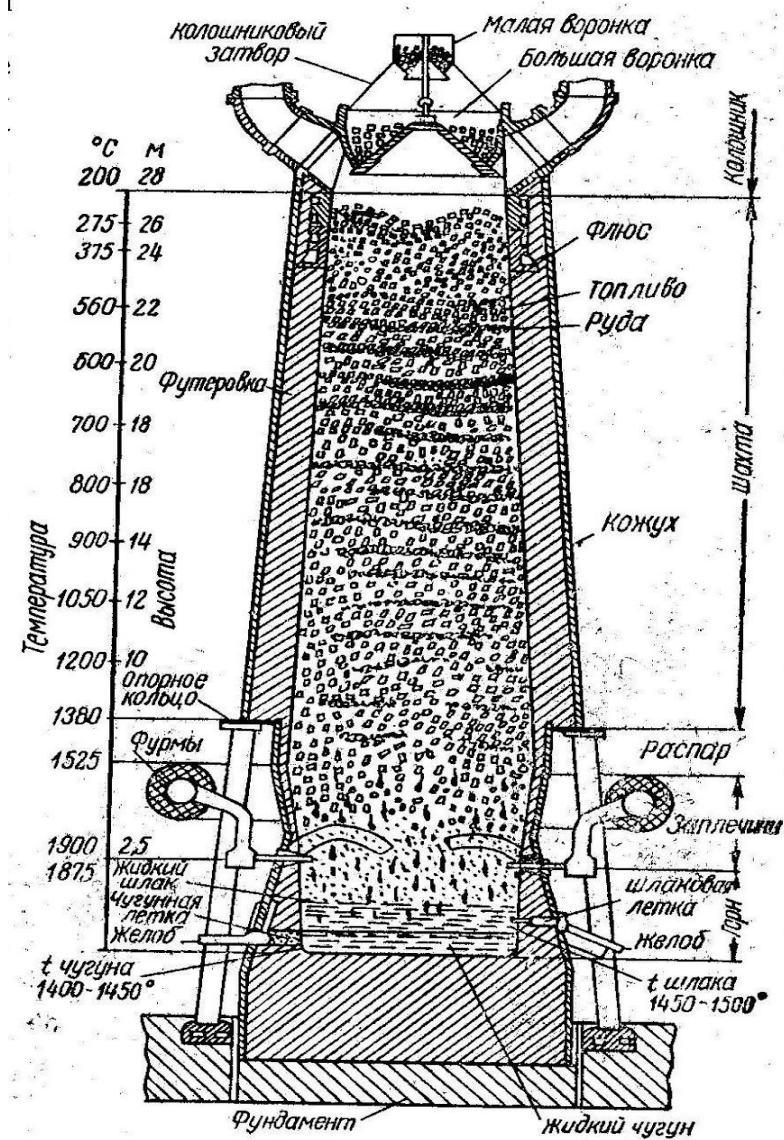
- 1) Выплавка чугуна из железной руды производится в доменной печи, представляющей шахтную, т. е. вертикальную, печь непрерывного действия. Сверху в нее засыпается шихта, которая по мере плавления опускается книзу. Навстречу шихте вверх поднимаются газы.
  - 2) Доменная печь имеет форму двух усеченных конусов, сложенных своими основаниями.
- Верхняя узкая ее часть называется **колошником**. Через колошник в печь поступает шихта и из печи отводятся колошниковые газы. Для загрузки шихты здесь имеется автоматически действующее загрузочно-распределительное устройство — **колошниковый затвор**. Он состоит из двух конусов, закрывающих соответствующие воронки. Сначала шихта поступает в малую воронку и располагается на малом конусе. Когда малый конус опускается, она просыпается на большой конус, прижатый к большой воронке. Затем малый конус поднимается, а большой опускается, и исходные материалы попадают в печь.
- Ниже колошника располагается **шахта**. Чтобы шихта свободно опускалась в процессе плавки, шахта расширяется книзу. В шахте руда высушивается, выделяется химически связанная вода, идет процесс восстановления окислов.
- Самая широкая часть печи — **распар** — имеет цилиндрическую форму. Здесь начинается шлакообразование и плавление металла.



Нижний усеченный конус, называемый **запличками**, сужается книзу, для того чтобы удерживать находящуюся в шахте и распаре шихту. В этом поясе продолжается расплавление металла и шлака.

В самой нижней цилиндрической части доменной печи — **горне** — идет горение и накапливаются жидкий чугун и шлак. Дно горна называется лещадь. Вблизи запличков равномерно по окружности размещаются 12—20 отверстий — фурмы, через которые воздуходувными машинами под давлением подается в печь подогретый до температуры 600—1000° С воздух, обеспечивающий горение топлива, загружаемого в доменную печь.

Часть горна, располагающаяся ниже фурм, называется **металлоприемником**; в нем собираются чугун и шлак. В горне, ниже фурм, имеется **шлаковая летка** — отверстие для выпуска шлака, а в самой нижней части — одна или, при большом объеме доменной печи, несколько **чугунных леток** для выпуска чугуна.



- 3) Внутренняя часть доменной печи выкладывается высококачественным шамотным кирпичом'. Снаружи печь имеет стальной кожух, стягиваемый кольцами. Шахта располагается на опорном кольце, которое опирается на укрепленные в фундаменте колонны. Для охлаждения кладки в нее закладываются металлические трубы — холодильники, по которым циркулирует вода.
- 4) Основными характеристиками доменной печи являются ее полезная высота и полезный объем. **Полезной высотой** называется расстояние от оси чугунной летки до уровня опускания нижнего конуса засыпного аппарата. **Полезным объемом** называется рабочий объем, заполненный шихтой с продуктами плавки. Есть доменные печи с полезным объемом 1100, 1386, 1513, 1719, 2000, 2300, 2700, 3200 м<sup>3</sup>. На Криворожском металлургическом заводе введена крупнейшая в мире доменная печь полезным объемом 5000

# Тест

1. Что является основной характеристикой доменной печи?
  - A. Полезная высота
  - B. Полезный объем
  - C. Полезная мощность
2. Из каких основных частей состоит доменная печь?
  - A. Колошник
  - B. Горн
  - C. Футеровка
  - D. Распар
3. Состав шихты?

# Вспомогательные устройства доменной печи

- *Газоочистители*  
в них колошниковые газы очищаются от рудной пыли частичек кокса для того, чтобы затем их можно было использовать в качестве топлива.
- *Воздухонагреватели (кауперы)*  
для более полного сжигания топлива в печь подается воздух, который предварительно нагревают до температуры  $850-1000^{\circ}$  ( $1350^{\circ}$  в новых печах).
- *Подъемные и загрузочные приспособления*



# Доменный процесс

- 1. Новая или прошедшая капитальный ремонт доменная печь медленно просушивается, после чего задувается — пускается в ход. Горн и заплечики до фурм загружаются коксом, шахта наполняется задувочной шихтой, содержащей уменьшенное против нормы количество железной руды. Подается горячее дутье и разжигается кокс. По мере выгорания его шихта опускается, печь пополняется новыми порциями шихты. Количество руды в ней увеличивается. Постепенно состав шихты доводится до нормального. Процесс задувки продолжается несколько дней.
- По окончании задувки доменной печи загрузка ее идет по мере опускания шихты, и плавка продолжается до тех пор, пока не потребуются капитальный ремонт печи.

- 2. В основе производства чугуна лежит *процесс восстановления железа* из его окислов (в железных рудах железо может быть в виде окислов  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\text{FeO}$ ). Восстановителями являются образующиеся в ходе доменного процесса окислы углерода, сажистый углерод и водород. В результате протекающих в доменной печи химических процессов железная руда отдает свой кислород; выделяющееся, при высокой температуре железо обладает способностью поглощать углерод. В итоге вместо соединения железа с кислородом (железной руды) образуется сплав железа с углеродом (чугун).
- Таким образом, доменный процесс состоит из ***восстановления железа*** из его окислов, ***науглероживания железа*** и превращения его в чугун и ***образования шлаков*** из пустой породы.



- 3. В современной доменной печи механизированы и автоматизированы все процессы приготовления и подачи шихты, ее загрузка. Автоматически регулируется температура и влажность дутья, его состав. Ход плавки контролируется измерительными приборами, регистрирующими состав колошникового газа, температуру кладки печи в различных зонах. Внедряется комплексная автоматизация доменного процесса с управлением электронно-вычислительными машинами.

- 4. Образующийся в доменной печи чугун накапливается в горне. Он выпускается периодически 6—8 раз в сутки через чугунную летку. Для этого в летке специальными сверлилками и пневматическим молотом пробивается отверстие, и чугун сильной струей по желобу, выложенному огнеупорным материалом, направляется в чугуновозные ковши. Ковши транспортируют его либо в хранилище, если чугун идет для переделки в сталь, либо в разливочную машину, где отливаются чугунные чушки массой до 50 кг. Чушки направляются на машиностроительные заводы, где переплавляются в вагранках для получения фасонных чугунных отливок.
- Когда чугун из горна выпущен, чугунная летка заделывается огнеупорной глиной.
- Шлак располагается в горне поверх чугуна. Он удаляется через шлаковую летку чаще, чем чугун, направляется по желобу в шлаковозные ковши, а из них на переработку или в отвал.

- 5. В современной доменной печи механизированы и автоматизированы все процессы приготовления и подачи шихты, ее загрузка. Автоматически регулируется температура и влажность дутья, его состав. Ход плавки контролируется измерительными приборами, регистрирующими состав колошникового газа, температуру кладки печи в различных зонах. Внедряется комплексная автоматизация доменного процесса с управлением электронно-вычислительными машинами.

- **Контрольный вопрос**

- Как протекает доменный процесс?

- **Вспомогательные вопросы**

- В чем заключается процесс задувки доменной печи? В чем состоит сущность доменного процесса?
- \* Из каких окислов восстанавливается железо в доменной печи? Каким рудам соответствует каждый из них?
- Почему шлаки располагаются в горне выше чугуна?
- Какие химические реакции называются восстановительными? Что происходит в ходе этих реакций? Какие химические элементы и соединения являются восстановителями в доменном процессе?

## печи

- В доменной печи в ходе плавки наблюдаются два потока: сверху вниз перемещаются руда, топливо и флюсы; снизу вверх — продукты горения. Шихтовые материалы встречаются с газовым потоком, при этом изменяются их химический состав и свойства.
- Снизу в печь через фурмы из кауперов поступает нагретый воздух. Кислород воздуха взаимодействует с углеродом кокса, обеспечивая полное сгорание кокса по реакции
- $C + O_2 = CO_2$ .
- Реакция идет с выделением большого количества тепла, и на уровне фурм температура достигает  $1700—2000^\circ C$ .
- Поднимаясь выше, углекислый газ (двуокись углерода) вступает в реакцию с новыми слоями раскаленного кокса, в результате образуется окись углерода:
- $CO_2 + C = 2CO$ .
- Часть окиси углерода в процессе движения к колошнику разлагается и снова образует углекислый газ и сажистый углерод ( $2CO = CO_2 + C_{саж}$ ), который оседает в трещинах и порах шихтовых материалов. Большая же часть окиси углерода идет на восстановление окислов железа, кремния, марганца и других химических элементов.
- Одновременно происходит реакция взаимодействия влаги воздуха или специально увлажненного дутья с углеродом. Выделяющийся при этом водород также является восстановителем железа, однако существенного влияния на доменный процесс он не оказывает.

- 3) Загруженная в доменную печь шихта попадает сначала в подготовительный пояс (колошник и верхняя часть шахты, имеющий сравнительно невысокую температуру. Она здесь высушивается, теряет химически связанную с рудой влагу, растрескивается, разрыхляется, становится более пористой, что облегчает ее восстановление.
- Опускаясь ниже, шихта попадает в зоны более высоких температур — восстановительный пояс, где идет процесс восстановления железа. Легче всего восстанавливается железо из окисла  $Fe_2O_3$ , труднее — из  $Fe_3O_4$  и  $FeO$ .
- Процесс восстановления железа окисью углерода (косвенное восстановление) проходит ряд стадий. Сначала окись железа восстанавливается до закиси-окиси железа:
- $3Fe_2O_3 + CO = 2Fe_3O_4 + CO_2$ .

- Далее закись-окись железа восстанавливается в закись железа:
- $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2$
- Наконец, из закиси восстанавливается железо:
- $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$ .
- Восстановление железа из руды может происходить также за счет сажистого углерода (прямое восстановление) при температуре 950—1000° С:
- $\text{FeO} + \text{C}_{\text{саж}} = \text{Fe} + \text{CO}$ .
- Таким образом, по мере движения железной руды к горну идет постепенное восстановление железа. Чем ниже опускается шихта, тем выше температура в печи и тем активнее идет этот процесс. На уровне распара уже почти все железо восстановлено.



- 4) Восстановленное железо, соприкасаясь с окисью углерода, при температуре 820—850° С науглероживается, растворяя в себе углерод:
- $3\text{Fe} + 2\text{CO} = \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$ .
- При более высоких температурах (выше 900° С) науглероживание может идти и за счет сажистого углерода, проникающего внутрь губчатой железной массы:
- $3\text{Fe} + \text{C}_{\text{саж}} = \text{Fe}_3\text{C}$ .
- Образующийся в нижней части шахты и в распаре карбид железа  
 $\text{Fe}_3\text{C}$  способствует науглероживанию железа, растворяясь в нем с образованием чугуна, и тем самым понижает температуру плавления железа.
- Дальнейшее насыщение железа углеродом происходит, когда железо уже находится в расплавленном состоянии. Железо обычно растворяет до 3,5—4% углерода. Сплав железа, содержащий свыше 2% углерода, называется чугуном. В зоне плавки чугун плавится, стекая крупными каплями в горн.

## **Контрольный вопрос**

- Какие физико-химические процессы протекают в доменной печи?

## **Вспомогательные вопросы**

- Что является восстановителем железа в доменной печи?
- В результате каких процессов образуются окись углерода, водород и сажастый углерод?
  - \* Какие пояса различаются в доменной печи в процессе плавки? Примерные температуры в этих поясах. Какие процессы происходят в каждом поясе?
- Как протекают процессы прямого и косвенного восстановления железа?
  - \* Для чего часто увлажняется воздух, поступающий в доменную печь?
- При каких температурах и за счет чего идет процесс науглероживания железа? Что образуется при этом?
- Почему температура плавления чугуна ниже температуры плавления железа?

# Процессы восстановления других окислов и шлакообразования в доменной печи

- 1) Наряду с окислами железа в шихте обычно имеются окислы марганца, кремния, фосфора и соединения серы. В ходе доменного процесса эти соединения вступают в химическое взаимодействие с углеродом. Реакции эти идут с поглощением тепла, а потому восстановление указанных примесей железной руды происходит при температуре 1000—1200° С. Восстановленные марганец, кремний, сера и фосфор переходят в чугун.
  - Таким образом, выплавленный в доменной печи чугун, кроме железа и углерода, будет включать кремний, марганец, серу и фосфор.
  - Если в руде имеются соединения хрома, никеля, титана, они также восстановятся при доменной плавке. Восстановленные хром, никель, титан попадут в чугун и улучшат его механические свойства.
  - 2) При нормальном ходе плавки после восстановления и расплавления железа в области распара или верхней части заплечиков начинается образование шлака из пустой породы, золы и серы, кокса и примесей руды.
  - Известняк, вводимый в шихту в качестве флюса, при высокой температуре разлагается на окись кальция ( $\text{CaO}$ ) и углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ). Окись кальция реагирует с пустой породой (окисями кремния, алюминия и т. п.) и другими примесями, образуя шлак.

- 3) Регулируя состав получающегося шлака, можно тем самым регулировать также и состав получающегося чугуна. Если, например, нужно, чтобы в чугуне был высокий процент кремния, процесс ведут так, чтобы в шлак переходило меньшее количество кремнезема.

Количество образующихся в доменной печи шлаков составляет примерно 50—60% от объема выплавляемого чугуна. Поэтому производительность доменной печи зависит в значительной степени от состава и свойств шлаков.

- **Контрольный вопрос**

Почему в состав чугуна, кроме железа и углерода, входят кремний, марганец, сера и фосфор?

- **Вспомогательные вопросы**

1. Как идет процесс восстановления различных окислов в доменном процессе? В какой области печи он происходит?
2. Что называется пустой породой? Состав ее.
3. Какие вещества применяются в качестве флюсов? Каков механизм действия флюсов?
4. Какое влияние оказывает состав образующихся шлаков на состав чугуна?

# Продукты доменного производства

Продуктами доменного производства являются чугун, шлак и доменный (колошниковый) газ;

- 1) Основным продуктом доменной плавки является чугун — сложный сплав железа с углеродом и другими химическими элементами. Он используется для изготовления изделий путем отливки (литейный чугун) или для переплавки в сталь (передельный чугун).
- 2) Полезным побочным продуктом является шлак. В состав шлака входят невосстановившиеся окислы:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$  (они составляют 90—95% шлака), а также  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaS}$ . Шлаки бывают основные, состоящие преимущественно из основных окислов ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и др.), и кислые, с преимущественным содержанием кислых окислов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и др.). Кислые шлаки отличаются высокой прочностью. При продувке их воздухом получается шлаковая вата, являющаяся хорошим изоляционным материалом.  
Основные шлаки идут на изготовление строительных материалов: цемента, шлаковых кирпичей, гравия.
- 3) Побочным продуктом является также доменный газ. Примерный состав его при выплавке чугуна на каменноугольном коксе: 12—20%  $\text{CO}_2$ , 20—30%  $\text{CO}$ , 1—4%  $\text{H}_2$ , 55—58%  $\text{N}_2$ . Температура уходящих из доменной печи газов 150—300° С. Колошниковый газ является высококалорийным топливом. После очистки он используется в качестве топлива в кауперах, металлургических печах, коксовых батареях. Доменный газ широко

4) Для выплавки 1 т чугуна расходуется около 2—2,2 т железной руды, 0,7—1,1 т кокса, 0,25—0,5 т флюса и около 5 т воздуха. При этом получается, кроме чугуна, 0,6 т шлака, 6—6,5 т (4000— 5000 м<sup>3</sup>) доменного газа.

5) Производительность доменной печи характеризуется коэффициентом использования полезного объема  $k$  — отношением полезного объема доменной печи  $V$  (м<sup>3</sup>) к суточному выпуску чугуна  $T$  (т.):

$$k = V / T$$

Чем меньше значение  $k$ , тем выше производительность печи, поскольку при одном и том же полезном объеме печи будет получено за сутки большее количество чугуна.

За счет рационализации процессов плавки новаторы довели коэффициент использования полезного объема до 0,6 и даже до 0,4.

6) Значительно повышает производительность доменной печи применение дутья, обогащенного кислородом. Добавление в дутье 25% кислорода увеличивает производительность на 15—20%.

## **Контрольный вопрос**

Какие продукты получаются а доменной печи? Как они используются?

## **Вспомогательные вопросы**

1. Где используются основные и кислые шлаки? Что входит в состав доменного газа? Почему доменный газ требует очистки? Как она производится?
2. \* Какое количество сырья и воздуха потребуется для производства 500 т чугуна? Что, кроме чугуна, получится при этом и в каком количестве?
3. Что называется полезным объемом доменной печи?
4. Какие химические элементы входят в состав чугуна?