

Лекция. Топливо металлургического производства. Производство кокса. Другие виды топлива

Технологическое топливо. Общие понятия и определения

Топливо — вещество, выделяющее в результате тех или иных преобразований энергию, которая может быть технически использована. По принципу освобождения энергии различают два вида топлива: ядерное топливо, выделяющее энергию в результате ядерных преобразований, и химическое топливо, которое выделяет энергию при окислении горючих элементов, входящих в состав этого топлива.

Основные разновидности природного топлива древесина, торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит, сланец, нефть, природный горючий газ. Все горючие ископаемые (ГИ) — твердые, жидкие и газообразные — образовались из остатков растительного и животного происхождения и называются *каустобиолитами* (от греческого каустос — горючий, биос — жизнь, литос — камень). Нефть и природный газ относят к каустобиолитам потому, что они образовались из нефтегазоматеринского вещества, пребывающего в твердом состоянии.

Особенности различных природных топлив связаны типом исходного органического вещества, геологическим возрастом и горно-геологическими условиями.

Торф, бурые и каменные угли, антрациты произошли из высших растений. Каждый из указанных видов топлив именуется соответствующую стадию зрелости: торфяную, буроугольную, каменноугольную и антрацитовую. Этим стадиям соответствуют определенные свойства: содержание углерода, выход летучих веществ, зольность, теплотворная способность.

Наиболее важной технической характеристикой топлива является его состав, который служит исходной информацией для анализа процессов горения в промышленных установках (котлы, металлургические печи, воздухонагреватели, зажигательные горны и т. п.). Состав топлива выражают результаты элементного и технического анализов.

В таблице приведены элементные анализы восьми видов топлива: торфа, бурого угля, каменного угля и др. Здесь следует обратить внимание на следующее: по мере возрастания стадии зрелости в топливе увеличивается содержание углерода и уменьшается сумма O+N+S (в торфе и буром угле — 39—30%, в антраците — 1%). Нефть и природный газ характеризуются большим отношением H/C, чем каменный уголь и антрацит.

Средний элементный состав горючих ископаемых

Вид топлива	Состав, % (масс.)		
	С	Н	О, N, S
Торф	55	6	39
Бурый уголь	65	5	30
Каменный уголь	80	5	15
Антрацит	96	3	1
Сапропелитовые угли	78	9	13
Сланцы	77	8	15
Нефть	85	13	2
Природный газ	75	25	Следы

Важнейшими характеристиками топлива являются:

- 1) теплота сгорания,
- 2) максимальная энтальпия продуктов сгорания,
- 3) жаропроизводительность (температура горения калориметрическая),
- 4) влажность,
- 5) зольность,
- 6) содержание серы,
- 7) содержание фосфора,
- 8) выход летучих.

Эффективность использования топлива в высокотемпературных процессах в значительной степени определяется его жаропроизводительностью. В зависимости от величины t_{max} топливо делится на две группы:

- топливо высокой жаропроизводительности — $t_{max} > 2000^{\circ}C$. К этой группе относятся: коксовый газ, природный газ, кокс, каменный уголь, мазут и др.

- топливо пониженной жаропроизводительности $2000^{\circ}C < t_{max} < 1700^{\circ}C$. К этой группе относятся: доменный газ, бурые угли, торф, дрова.

Влажность. Содержание влаги в Т. понижает его теплоту сгорания вследствие уменьшения содержания горючих компонентов и увеличения расхода тепла на испарение воды. Влажность снижает и жаропроизводительность топлива.

Зольность. Минеральные вещества, содержащиеся в топливе понижают его теплоту сгорания вследствие уменьшения содержания горючих компонентов и увеличения расхода тепла на нагрев и плавление минеральной массы.

Повышение зольности металлургического кокса на 1% увеличивает расход флюсов при выплавке чугуна примерно до 1,5%, расход кокса на 1,5—2,5% и снижает производительность доменных печей примерно на 1,5...2,5 %.

Содержание фосфора. Фосфор углей в процессе коксования практически полностью остается в коксе, а в доменной печи почти полностью переходит в чугун.

На производство 1 т стали расходуется примерно 1,5 т условного топлива. Наибольшая доля этой величины приходится на доменное производство — 50%, агломерационное производство — 7%, сталеплавильное — 7%, прокатное — 10%.

Используемое на металлургических заводах топливо подразделяется на технологическое и энергетическое. К **технологическому** относят топливо, которое используют в технологических процессах. Кроме кокса сюда могут относиться природный газ, мазут, угольная пыль, которые используются при выплавке чугуна, при металлизации окатышей и т. д.

К **энергетическому** относят топливо, которое используется для получения физического тепла.

Все виды используемых топлива относятся к **невозобновляемым** энергетическим ресурсам, входящих в число важнейших факторов жизнеобеспечения человека на Земле. Использование топлива сопряжено с усилением **антропогенного влияния на биосферу**. Во-первых, при добыче выводятся из использования в сельском хозяйстве большие площади земли, и происходит их загрязнение промышленными отходами. Во-вторых, при сжигании топлива из атмосферы забирается кислород, а выбрасываются с дымом CO_2 , CO , CH , NO , сажа, частички угля и золы, соединения серы. Твердые частицы, поступая в приземные слои атмосферы, оседают на почве и концентрируются на растениях, с которыми они попадают в организм животных и человека. В районах интенсивной добычи угля и нефти наблюдается оседание поверхности земли с нарушением ландшафта. Все это составляет большую экологическую опасность для человека.

Уголь - горная осадочная порода растительного происхождения. Уголь представляет собой один из видов твердых горючих ископаемых: торф, бурые и каменные угли, антрациты.

Каменные угли делятся на марки по выходу летучих веществ (которые определяются в пробах с зольностью менее 10% или обогащенных до этого предела) и толщине пластического слоя, выраженной в миллиметрах. Различают **следующие марки каменных У.:**

длиннопламенный — Д (1ДВ, 1ДФ, 2ДВ, 2ДФ);

газовый (1ГВ, 1ГФ, 2Г);

газовый жирный — ГЖ (1ГЖОВ, 1ГЖОФ, 2ГЖОВ, 2ГЖОФ);

жирный — Ж (1Ж, 2ЖВ, 2 ЖФ);
коковый жирный — КЖ;
коковый — К (1КВ, 1КФ, 2КВ, 2КФ);
коковый отощенный — КО (1КОВ, 1КОФ, 2 КОВ, 2КОФ);
отощенный спекающийся — ОС (ОСВ, ОСФ);
слабоспекающийся — СС (1СС, 2СС, 3СС);
тощий — Т (1ТВ, 1ТФ, 2ТВ, 2ТФ);
антрацит (1АВ, 1АФ, 2АВ, 2АФ, 3АВ, 3АФ).

Для получения металлургического кокса используют каменные У., способные при коксовании спекаться и образовывать нелетучий остаток со свойствами металлургического кокса. Этим свойством обладают угли марок Ж, К, Г и частично — ОС. Однако в структуре топливного баланса черной металлургии за последние годы вполне четко определилась тенденция снижения потребления коксующихся углей и увеличения доли энергетических углей. Это вызвано применением новых, более дешевых технологий коксования и замещением кокса Энергетическими углями с малым содержанием золы и серы путем его вдувания в доменные печи.

Уголь является единственным углеводородным ископаемым сырьем, запасы которого могут обеспечить потребности промышленности и энергетики Украины в ближайшие 200-500 лет. В топливно-энергетическом балансе Украины доля угля занимает ведущее место. Если в структуре мировых запасов углеводородного ископаемого сырья уголь составляет 67%, нефть – 18% и газ – 15%, то в Украине в соответствии 94,5%, 2% и 3,6% (по другим данным: уголь – 97,4% , нефть и газ – 2,6%).

Запасы **каменного угля** категорий А + В + С1 в Украине на конец XX века по украинским источникам составляли около 43,1 млрд.т, категории С2 – 10,1 млрд.т. Запасы каменного угля сосредоточены в Донецком и Львовско-Волынском бассейнах (94,9% от общих запасов угля Украины – 92,4% – в Донецком и 2,5% – в Львовско-Волынском). Более трети запасов этих бассейнов – коксующийся уголь.

На 2000 год разведанные запасы промышленных категорий угля Донбасса составляют 57,5 млрд.т и перспективные еще +18,3 млрд.т. При годовой добычи 100 млн. т этих запасов хватает на 570 лет.

Условия залегания угля в Донбассе сложные: глубина – 1200 м, толщина пластов – 0,5-2,0 м, высокая крутизна падения пластов. Это затрудняет добычу угля и обуславливает его высокую себестоимость.

Добыча угля в Львовско-Волынском бассейне менее сложная, толщина пластов здесь достигает 2 м и запасы составляют 1 млрд. т.

Месторождения **бурого угля** сосредоточены в Днепровском угольном бассейне, частично в пределах Донецкого бассейна, а также в Закарпатской, Полтавской, Харьковской областях. Главные месторождения – Коростышевское (Житомирская область), Звенигородское (Черкасская область), Александрийское (Кировоградская область), а также Андрушевское, Казацкое, Новомиргородское, Морозовское и другие. Балансовые запасы бурого угля составляют около 5% от общих запасов угля Украины. В абсолютных оценках запасы бурого угля категорий А+В+С1 в Украине на конец XX в. (по укр. ист.) составляли около 2,6 млрд.т, категории С2 – 0,3 млрд.т.

Горючие сланцы в Украине

На границе Кировоградской и Черкасской областей открыты запасы горючих сланцев (3,7 млрд.т). Основные их залежи сосредоточены в Бовтишской впадине и приурочены к горным породам палеогена. Выделено 5 горизонтов мощностью 2-40 м, залегающих на глубинах 180-500 м. Содержание керогена 30-40%, выход смол 10-20%, зольность 50-60%, теплота сгорания 10-16 МДж/кг. Залежи горючих сланцев обнаружены также в пределах Днепровско-Донецкой впадины, Волыно-Подольской плиты, в Карпатах и Крымских горах. Менилитовые сланцы в большом количестве залегают в Карпатах.

Торф в Украине

В Украине есть более 2500 месторождений торфа (госбалансом учтено более 1560), запасы которого оцениваются в 2,2 млрд.т. Залежи торфа расположены в основном в Волынской, Ровенской, Киевской, Черниговской и Львовской областях.

В зональном разрезе в Украине выделяют пять торфяно-болотных областей: Полесье (58% запасов торфа-сырца), Малое Полесье (7%), Лесостепь (35,9%), Степь (0,4%), Карпаты и Прикарпатье (2,9%). Кроме того, на территории Украины известны залежи сапропеля (около 350 месторождений, госбалансом учтено 274 месторождений).

Коксующийся уголь в мире

Значительными запасами коксующихся углей располагают СНГ (Донецкий, Печорский, Кизеловский, Кузнецкий, Карагандинский, Южно-Якутский, Тунгусский и другие бассейны), США (Аппалачский, Западный, Юинта, Грин-Ривер и др.), Великобритания (Нортамберлендский, Южно-Уэльский, Ланкаширский и Йоркширский бассейны), Германия (Рурский, Нижневестфальский), Польша (Верхне- и Нижнесилезский, Люблинский), Бельгия (Льежский), Индия (Бокаро, Ранигандж, Джхария), Канада (Альберта), Австралия (Боуэн, Новый Южный Уэльс), КНР (Шаньси, Датун), Монголия (Тавантолгой), Чехия (Остравско-Карвинский и Трутновский); ограниченные по запасам месторождения известны также во Франции, в Испании, Венгрии, Румынии, Югославии, Турции, Японии, Иране, Афганистане, Мексике, Бразилии, Аргентине. Коксующиеся угли выявлены также в ЮАР, Зимбабве, Мозамбике.

Около 10 % каменного угля подвергается коксованию.

Характеристики коксующегося угля:

- Возможность приобретать пластическое состояние и при определённой температуре — спекаться.
- Более высокие температуры сгорания.
- Меньшее содержание примесей.

Основное отличие коксового угля от энергетического — наличие в коксующемся угле витрена (от лат. *vitrum* — стекло). Особенностью витрена является то, что при высокой температуре он способен плавиться и обретает свойство спекания (склеивания) микрочастиц угля в плотную массу — кокс. Чем больше в угле витрена, тем выше его качество коксования.

ТОПЛИВО ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Одним из традиционных принципов размещения крупных металлургических комбинатов была ориентация на залежи коксующихся углей. Это сырьё для черной металлургии имеет большое значение. Примеры таких металлургических центров - Кузбасс, Рур (Германия), украинский Донбасс.

Основным топливом доменной плавки является каменноугольный кокс, который представляет собой твердую, пористую спекшуюся массу, оставшуюся после удаления из каменного угля летучих веществ в результате прокаливания его при высокой температуре без доступа воздуха. Кокс должен быть чистым по сере и фосфору, содержать минимальное количество золы и обладать высокой прочностью и сопротивлением истиранию.

Кокс каменноугольный (от нем. Koks) — твёрдый пористый продукт серого цвета, получаемый путем коксования каменного угля при температурах 950-1100 °С без доступа воздуха. Кокс используется в качестве топлива и восстановителя в доменных печах .

Химический состав кокса зависит от природы каменных углей и характеризуется массовой долей различных элементов в органическом веществе и содержанием минеральных примесей.

Обычно кокс имеет следующий химический состав:

- 82 - 88 % твердого (нелетучего) углерода,
- 10 - 15 % золы,
- 0,5 - 1,8 % серы.

Кокс имеет достаточную пористость (до 50 %) и хорошую горючесть. Теплота сгорания равна 27,2 - 31,4 МДж/кг.

К основным областям применения кокса можно отнести:

- 1) выплавка чугуна (доменный кокс) - как высококачественное бездымное топливо, восстановитель железной руды, разрыхлитель шихтовых материалов.
- 2) литейное производство (литейный кокс) - как ваграночное топливо.

Литейный кокс по размерам кусков крупнее доменного; наиболее пригоден продукт, в котором присутствуют куски менее 60—80 мм. Главное отличие литейного кокса от доменного — малое содержание S, которое не должно превышать 1 % (в доменном коксе до 2 %).

3) химическая и ферросплавная промышленность.

В промышленности ферросплавов используют мелкий кокс (например, фракцию 10—25 мм), при этом в отличие от доменного и литейного производств предпочитают применять продукт с большой реакционной способностью.

Коксохимическая промышленность - отрасль черной металлургии, занимающаяся переработкой каменного угля методом коксования.

Основная продукция коксохимической промышленности (в % к общему выпуску):

- Каменноугольный кокс — 76-78 %
- Коксовый газ — 14-15 %
- Химические продукты (бензол, толуол, этилен, различные смолы, масла и пр.) — 5-6 %.

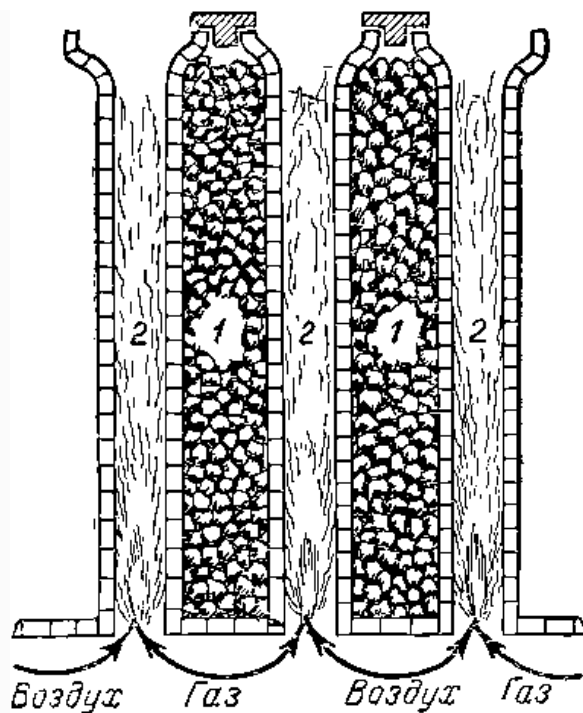
Из 1 т сухой шихты, помимо 750—800 кг кокса, получают 320—330 м³ коксового газа, а также 33 кг каменноугольной смолы, 80 – подсмольной воды, 11 – сырого бензола, 3 – аммиака, которые перерабатывают в химические продукты. На их основе выпускают различные полимеры, азотные удобрения, синтетические моющие средства, пестициды, лекарственные препараты и многое другое (около 200 наименований).

Из искусственных газообразных топлив (доменного, смешанного, конвертерного, генераторного) коксовый газ обладает наибольшей теплотой сгорания (свыше 17 тыс. кДж/м³).

Коксование возникло в 18 в., когда истребление лесов для получения древесного угля, первоначально шедшего на выплавку чугуна, стало угрожающим и потребовалось заменить этот уголь минеральным топливом.

Начало применения кокса при выплавке металлов, и последующее за этим их удешевление, послужило одним из факторов успеха Промышленной революции. Первая выплавка чугуна с использованием кокса в качестве топлива была произведена в Великобритании в 1735 году.

В 1830-х годах в Великобритании начали строить коксовые печи с закрытыми камерами, а в 1880-х стали появляться печи с улавливанием продуктов коксования. В это время коксохимическая промышленность из придатка металлургии начала превращаться в самостоятельную отрасль.



1 — камеры с углем; 2 — межкамерные пространства

Схема работы коксовой батареи

Производство кокса

Шихтой для производства кокса служат различные сорта каменного угля: коксовые, жирные, тощие, газовые. Основу шихты составляет коксующийся уголь, наиболее дорогой сорт угля.

Технологический процесс коксования по производству кокса состоит из следующих операций: подготовка шихты, спекание кокса, улавливание и переработка выделяющихся химических продуктов, предварительная обработка кокса.

Подготовка шихты включает: приём и складирование углей, усреднение, составление шихты, дробление, смешение и загрузка шихты в камеры. Требования к качеству шихты предусматривают соблюдение постоянства состава, крупности (<3 мм) и влажности (7—8%).

Перед коксованием уголь обогащают. Из него стремятся удалить минеральную породу, что позволяет понизить содержание золы в коксе. Затем шихту увлажняют и направляют в коксовые печи.

Коксовые печи

Современные коксовые печи по способу загрузки угольной шихты и выдачи кокса подразделяют на горизонтальные и вертикальные.

Наиболее широко распространены горизонтальные коксовые печи периодического действия.

Кокс получают в камерных печах, объединенных в коксовые батареи, производительностью до 1 млн. т/год. Батарея может иметь до 80 камер коксования. Стенки камер футеруют огнеупорным динасовым кирпичом.

Объем камеры составляет до 42 м³, что позволяет получать в ней за один прием до 20 т кокса.

Длина камер достигает 13—16 м, высота 4—7 м, ширина 0,4—0,5 м.

Камера имеет форму спичечного коробка с размерами: ширина 0,5, высота 5 и длина 15 м. Все операции по обслуживанию коксовые печи (загрузка, съём и закрытие дверей и люков, выдача и тушение кокса и т.д.) механизированы и автоматизированы.

В потолке камеры устроены люки для загрузки шихты. Спереди и сзади камера закрыта дверцами, которые открываются специальными устройствами. Коксовые печи отапливаются доменным и коксовым газом, сжигаемым в простенках между камерами - вертикалах.

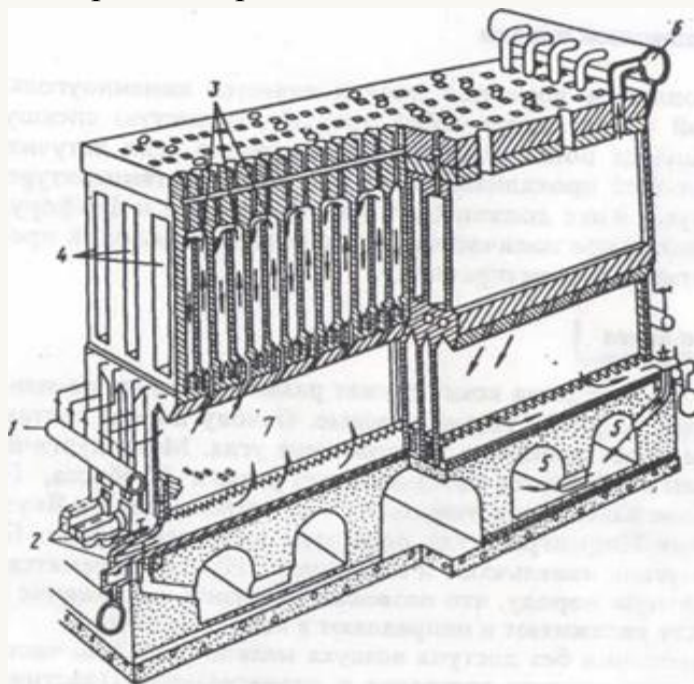


Рис. Разрез коксовой батареи:

- 1 - подача воздуха; 2 - подача газа; 3 - вертикальные отопительные каналы;
4 - камеры коксования; 5 - борва для продуктов горения; 6- отвод
газообразных продуктов коксования; 7 – регенераторы

Тепло, выделяемое при сгорании газа, отдается кирпичной кладке стен и идет на нагрев угольной массы. Для обеспечения процесса коксования температура внутри камеры должна быть не ниже 1100 °С, а в вертикалах 1400 °С. Высокий нагрев достигается благодаря применению подогретого воздуха. Нагрев воздуха производится в регенераторах, расположенных под коксовыми печами и представляющими собой устройства, в которых аккумулируется тепло отходящих газов.

Продукты сжигания газа из вертикала поступают в камеру регенератора, футерованную огнеупорным кирпичом наподобие пчелиных сот. Через решетчатую насадку в регенераторе проходят раскаленные печные газы. Насадка разогревается до высокой температуры, а продукты сгорания

охлаждаются. По достижении определенной температуры кладки, закрывают поступление горячего дыма и в регенератор направляют холодный воздух.

Воздух, проходя через регенератор, нагревается, а огнеупорная кладка охлаждается. Дым направляют в другой регенератор. Затем производят смену направлений потоков газа и воздуха. Принцип регенерации тепла для подогрева воздуха и возвращения тепла назад в металлургический агрегат широко используется в металлургии.

Образование коксового пирога продолжается 14-16 ч. За это время угольная масса проходит постепенно все стадии коксования. Процесс идет от наружной стенки камеры к ее центру. Сначала прогревается уголь, расположенный около стенок камеры, он быстро спекается и превращается в кокс. Средние слои превращаются в кокс значительно позднее. Только через 8-9 ч размягчение и коксование угля, начавшиеся у стенок камеры, достигают середины угольного слоя. Поскольку процесс коксования направлен к центру с двух сторон - от стенок, то примерно по осевой линии происходит разрывание коксового пирога по смоляной линии - шву. Кроме образования вертикальной центральной трещины в результате выделения газов, коксовый пирог разрывается рядом горизонтальных трещин. Он, претерпевает значительную усадку, отходит от стенок.

Для выгрузки кокса камеру отключают от трубопровода, в который уходят газообразные продукты коксования. Открываются с обеих сторон дверцы. С передней стороны по рельсам подкатывается коксовыталкиватель. Горизонтальная штанга коксовыталкивателя вводит в камеру башмак и, постепенно вдвигая его внутрь, выдавливает коксовый пирог из печи в вагон для тушения и сбора кокса. При выталкивании в вагон коксовый пирог разламывается по смоляному шву на две половины и рассыпается на более мелкие куски. Вагон с горячим коксом направляется в башню для тушения, где горячий кокс интенсивно охлаждается струями воды.



Рисунок - Схема выталкивания коксового пирога из коксовой печи

Большое распространение получает способ сухого тушения кокса азотом. Этот способ позволяет использовать теплоту раскаленного кокса и получать более прочный кокс. Нагретые при тушении кокса газы используют для получения пара и электроэнергии.

Другими методами повышения производительности коксовых батарей являются брикетирование угольной шихты перед коксованием в куски размером с грецкий орех, а также трамбование шихты, загруженной в коксовую камеру и предварительный подогрев шихты. Подогрев шихты осуществляется горячим азотом, который нагревается при сухом тушении кокса до 1000-1100 °С. После того, как азот проходит котел-утилизатор, его температура снижается до 400 °С и он направляется в реторты для нагрева угольной шихты. Холодный азот вновь используется для тушения кокса. Подогрев угольной шихты осуществляется в реакторах кипящего слоя во взвешенном состоянии. Длительность такого подогрева 3-5 мин. Далее шихта пневмотранспортом, при помощи того же азота, направляется в коксовые печи для загрузки. Сама загрузка значительно упрощается и облегчается.

Стадии коксования

Различают следующие последовательно протекающие стадии высокотемпературного коксования каменного угля:

1. Сушка угля при температуре до 100—120 °С. Сначала из слоя, соприкасающегося со стенками камеры, испаряется влага; образующиеся водяные пары уходят в подсводовое пространство печи. После испарения воды при температуре выше 100 °С протекает предварительное газовыделение. Удаляются растворенные в угле газы, метан и азот, а также диоксид углерода и кислород.

2. Нагрев угля до 300—350 °С. Коксующийся уголь на этой стадии проходит лишь физический прогрев частиц без разрушения (деструкции) легкоплавких соединений — битумов, при распаде которых и выделяются летучие вещества.

3. Размягчение и плавление угля при 350—500 °С. Первыми плавятся легкоплавкие битумы. В образовавшемся первичном расплаве растворяется вся остальная масса угольной шихты. Лишь небольшая часть угольных частиц сохраняет свою индивидуальность и не растворяется в жидкой фазе. Из расплава интенсивно выделяются летучие, что резко меняет его химический состав, увеличивает вязкость. Поры в коксе - это пузыри и трубки, по которым двигались летучие в массе расплава; стенки их твердеют и сохраняются затем в готовом продукте.

4. При 500—600 °С расплав затвердевает в виде первого, еще слабого в механическом отношении продукта — **полукокса**, содержащего обычно еще около 50 мас.% всех летучих исходной угольной шихты.

5. При 600—1100 °С осуществляется многочасовое прокаливание кокса, что позволяет почти полностью удалить из него летучие, провести частичную графитизацию вещества кокса, т. е. превращение аморфного углерода в кристаллический гексагональный графит. Степень графитизации готового кокса оценивается, по экспериментальным данным, в 15—20%. Именно в ходе перекристаллизации и спекания вещества кокса при 600-1100 °С его прочность и твердость возрастают в 30—40 раз.

В целом схема коксообразования может быть представлена следующими основными стадиями:

органическая масса угля (плавление, деструкция, пластификация) → пластическая масса (деструкция, синтез) → мезофаза (отверждение, конденсация) → полукокс (совершенствование структуры) → кокс

Качество кокса

Куски кокса имеют правильную форму и максимальный размер, не превышающий половины ширины камеры коксования. Цвет кокса светло-серый или слегка серебристый. Хороший кокс не пачкает рук, при ударе куска о твердую поверхность издается легкий звон. Куски кокса пористые с трещинами на поверхности.

Все свойства кокса разделяют на три типа: химический состав, физико-механические и физико-химические свойства.

Химический состав кокса характеризуется прежде всего составом органической массы. Средний состав кокса на органическое вещество (% (масс.)) таков: углерод 96,5-97,5 %, водород 0,5-0,8%, азот ~ 0,7%, кислород ~ 0,3 %, сера < 2 %, фосфор ≤ 0,015 %. Такой анализ называют **элементарным анализом**. Главным в нем является содержание углерода. Однако металлургам этого недостаточно. Большую роль играет содержание золы и форма нахождения углерода в коксе (летучая или нелетучая). Для доменной плавки важен углерод из нелетучих соединений, который не будет при низких температурах удаляться из печи. Элементарный анализ этого не учитывает, причем он сложный и требует много времени.

Технический анализ более простой, оперативный, он дает металлургам больше информации по качеству кокса. Такой анализ определяет состав золы (А), влагу (W), летучие вещества (V), серу (S). При этом содержание влаги дается сверх 100%. Углерод тут не определяется. Однако его можно определить по разнице:

$$C_{\text{нелет}} = 100 - (A+S+V)$$

Содержание золы в коксе должно быть минимальным. Зола является не только балластом, уменьшающим содержание углерода в коксе, но требует добавочного расхода известняка для ошлакования и дополнительного расхода тепла для расплавления шлака. Зола снижает прочность кокса. Среднее содержание золы в коксе 8-12 %.

Обычно кокс содержит 0,5-2,0 % S. Повышенное содержание серы нежелательно: использование сернистого кокса в доменной плавке требует повышенного расхода флюса для снижения концентрации серы в чугуне до заданной, что уменьшает производительность доменной печи. Так, при повышении содержания серы в коксе на 0,1 % расход кокса в доменной печи возрастает на 10-15 кг/т чугуна, а производительность печи уменьшается на 2,0 %.

Содержание фосфора в коксе обычно не превышает 0,05 %, влаги 2-6 %, летучих 0,9-1,25 %.

Характеристика качества кокса

Страна	Пористость %	Барабанная проба		
		M ₄₀	M ₂₅	M ₁₀
Из донецких углей (Украина)	49-52	-	87,1	7,0
Из кузнецких углей (Россия)	37	-	86,8	8,1
Коннельсвилльский (Питсбург, США)	47-56	-	-	-
Рурские, Германия	48	-	-	-
Дэрэмские, Англия	52	-	-	-

Технический анализ кокса некоторых промышленных районов мира, %

	A ^c	S ^c	V ^r	C _{неп}
Из кузнецких углей (Россия)	10,0-11,0	0,45-0,70	до 1,5	85,0-89,0
Из донецких углей (Украина)	9,0-11,0	1,5-2,0	до 1,5	85,0-89,5
Коннельсвилльский (Питсбург, США)	8-15,9	0,62-1,30	0,3-1,3	83,8-91,1
Рурский (Германия)	9,8-10,2	0,9-1,2	до 1,9	86,7-87,4
Деремский (Кливленд, Англия)	10,7	0,9-1,1	0,5-1,2	87,49
Индийский	21,9	0,56	0,98	76,56

Основными **физико-химическими свойствами** кокса являются:

- 1) реакционная способность - способность углерода кокса реагировать с окислительными газами — кислородом, двуокисью углерода и водяным паром.
- 2) горючесть, т. е. скорость сгорания;
- 3) температура воспламенения (600-700 °С).

Большое значение имеют **физико-механические свойства** кокса: механическая прочность, сопротивляемость дроблению и истиранию.

Прочность кокса определяют по стандартам. Суть определения прочности кокса сводится к тому, что испытывают его сопротивляемость разрушению при вращении барабана, куда помещают пробу кокса массой $50 \pm 0,5$ кг крупностью > 25 мм и определённого гранулометрического состава. Размеры барабана стандартизированы ($D = 1000$ мм, $B = 1000$ мм, на внутренней поверхности параллельно продольной оси закреплены 4 угловых профиля размером $100 \times 50 \times 10$ мм). Скорость вращения барабана 25 ± 1 об/мин. Продолжительность испытания — 4 мин (100 оборотов барабана). Испытанию подвергают три параллельные пробы. После испытания пробы выгружают и рассеивают на ситах с отверстиями 80×80 ; 60×60 ; 40×40 ; 25×25 ; 10×10 мм. На основании средних данных ситового анализа подсчитывают показатель выхода класса менее 10 мм (M10) и больше 25 мм (M25). Первый из них характеризует истираемость кокса (%), второй — количество товарной крупности (%) после наложения разрушающих усилий.

Значительную роль играет **гранулометрический состав кокса**. Весь полученный в коксовых печах кокс рассеивается после тушения на три фракции: мелочь размером < 15 мм, орешек $15-25$ мм и металлургический кокс > 25 мм. По пути в доменный цех происходит дополнительное измельчение кокса, поэтому перед загрузкой в подъемник доменной печи кокс снова проходит грохочение с целью отсева фракции < 25 мм. Для крупных доменных печей отсеивают фракции размером < 40 мм. Такие размеры кусков связаны с тем, что доменная печь является печью шахтного типа в которой происходит противоток отходящих газов и шихтовых материалов. Если куски кокса будут менее требуемого они будут удаляться из печи вместе с отходящими газами.

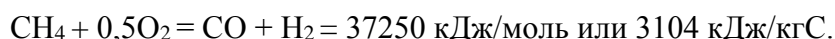
Заменители кокса

Кокс является дорогим и дефицитным сырьем. Для использования менее дефицитных плохо коксующихся углей делаются попытки заменить обычный кокс формованным, который получают высокотемпературным прессованием угольной шихты из некоксующихся углей.

Используемый в качестве топлива для доменной плавки **природный газ** содержит 90 ... 98 % углеводородов (CH_4 и C_2H_6) и до 1 % азота. Теплота его сгорания 33 ... 50 МДж/кг. Природный газ практически не содержит вредных

примесей - серы и фосфора. Он успешно применяется для интенсификации доменного процесса совместно с газообразным кислородом.

Характерной особенностью природного газа как доменного топлива является малое количество тепла, выделяющегося при горении его в горне доменной печи по реакции:



Как видно, тепловой эффект от горения природного газа в пересчете на 1 кг углерода во много раз меньше, чем при горении кокса по реакции:



Теплоты сгорания природного газа в доменной печи недостаточно, чтобы нагреть продукты горения до температуры фурменного очага (при горении кокса на обычном дутье), поэтому введение природного газа снижает теоретическую температуру горения. В связи с этим природный газ выполняет только одну из трех функций доменного топлива, являясь поставщиком химических реагентов (СО и Н₂), интенсифицирующих процесс восстановления оксидов железа. Одним из важных достоинств использования природного газа в доменных печах является простота системы ввода газа в печь: высокое давление, под которым газ поступает из месторождения, исключает необходимость установки специальных газодувок. Давление в магистральных трубопроводах достаточное для подачи газа в печь.

В доменной плавке используют в качестве топлива также каменноугольную пыль, мазут. Мазут - тяжелый остаток, крекинга нефти. Он содержит 84 ... 88 % С, 10... 12 % Н₂, небольшое количество серы и кислорода. Эти виды топлива создают восстановительную атмосферу в доменной печи и улучшают восстановление оксидов железа из руды, что приводит к экономии кокса. Кроме этого, используют доменный или колошниковый газ, который является побочным продуктом доменного процесса.

Пылеугольное топливо представляет собой тонкоизмельченный каменный уголь, подаваемый в горн доменной печи пневмотранспортом. Для быстрого сгорания в фурменных очагах частички угольной пыли должны быть измельчены до крупности 20-30 микрон. Большим преимуществом пылевидного угля по сравнению с другими видами топлива является его низкая стоимость. По количеству выделяющегося в горне тепла угольная пыль значительно превосходит мазут, природный и коксовый газы и приближается к коксу.

Анализ сырьевой базы коксования свидетельствует о том, что марочная структура угольных шихт практически на всех коксохимических заводах мира ухудшается из-за недостаточного количества запасов хорошо спекающихся углей (Ж, К, ОС). В связи с этим ведутся работы по изысканию новых технологий, обеспечивающих получение кокса из углей менее дефицитных.

К прогрессивным технологиям относятся производство формованного кокса из некоксуемых углей. Суть этой технологии заключается в скоростном нагреве угля с последующим формированием

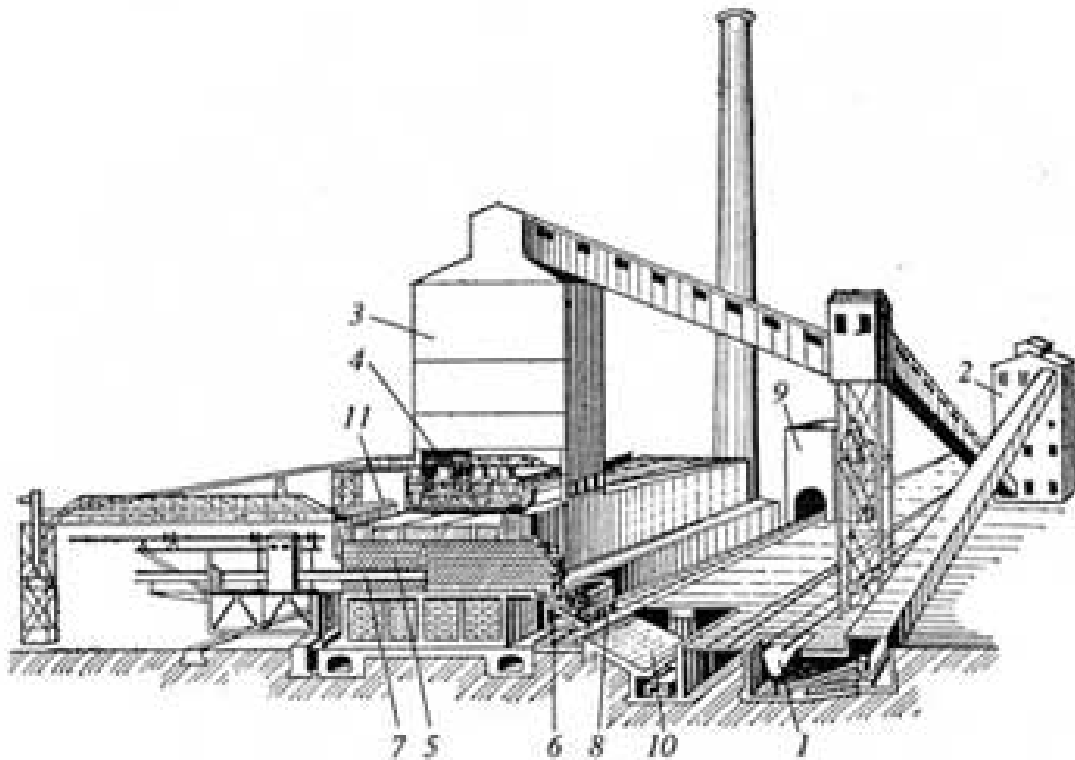
пластичной угольной массы под небольшим давлением и прокаливанием формовок.

Кокс нефтяной— собирательное название продуктов глубокой переработки нефти. Это твёрдые вещества, состоящие в основном из углерода [около 90% (масс.)]. Сырьём для производства Кокса нефтяного служат продукты первичной переработки нефти: крекинг-остаток, гудрон, полугудрон, асфальт, экстракт. Получают Кокс нефтяной двумя способами: замедленным коксованием в необогреваемых реакторах и на, так называемых, кубовых установках в горизонтальных обогреваемых реакторах. По первому способу получают более 80% от всего количества производимого Кокса нефтяного (бывший СССР — 85%, США — 92%, в Западной Европе, Японии и на Ближнем Востоке— 100%).

Критериями качества кокса нефтяного служат: влажность, выход летучих веществ, зольность, содержание серы, плотность, содержание Si, Fe и V.

Нефтяной кокс используют для производства электродов (15 —16%), анодов и анодных масс для выплавки алюминия (около 50% и выше), для производства ферросплавов, кремния, абразивов и в химической промышленности.

Технология получения нефтяного кокса связана с испарением в атмосферу углеводородов, выбросом пылевидных фракции, загрязнением воды, большим расходом пара и воды.



Общий вид коксовой батареи:

- 1 – приёмный бункер для сырого каменного угля; 2 – отделение для дробления и смешения угля; 3 – распределительная башня; 4 – погрузочная тележка; 5 – камера коксования; 6 – кокс; 7 – коксовыталкиватель; 8 – тушильный вагон; 9 – тушильная башня; 10 – платформа для выгрузки охлаждённого кокса (рампа); 11 – отвод коксового газа

Традиционная схема производства кокса, интегрированная в состав металлургического предприятия представлена на рисунке.

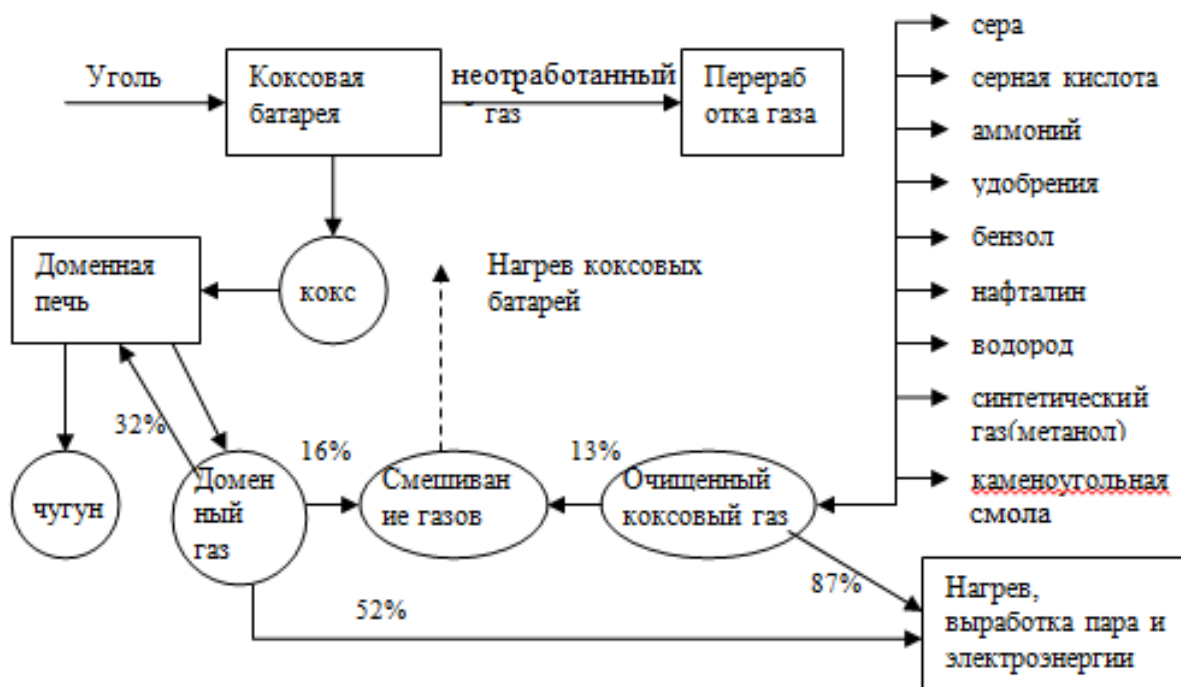


Рисунок – Схема производства кокса

В январе 2019 года на украинские метпредприятия поставлено 814 тыс. тонн кокса (100% относительно декабря 2018 года и 89% относительно января 2018 года), из которых украинского происхождения — 755 тыс. тонн (96% и 91% соответственно), импортируемого — 59 тыс. тонн (211% и 69% соответственно). Доля импортного кокса в общем объеме поставок составила 7,3%

Как сообщалось, Украина в 2018 году импортировала 11,98 млн тонн рядовых коксующихся углей и угольного концентрата для коксования, что на 11% выше показателя за 2017 год с учетом предприятий на НКТ, и на 14% — без них.

В целом за 2018 год украинские КХЗ получили 14,67 млн тонн углей для коксования, что на 3% выше предыдущего года с учетом предприятий на НКТ, или больше на 7% — без них. При этом доля импортных углей составила 81,7% против 75,9% за 2017 год — с НКТ, и 76,7% — без НКТ.

Общий объем кокса, полученного металлургами за 2018 год, составил 9,54 млн тонн (100% к 2017 году с учетом деятельности в январе-феврале 2017 года предприятий на НКТ, или 103% без их учета), из которого украинского происхождения — 9,22 млн тонн (107% и 110% соответственно), импортируемого — 0,32 млн тонн (34%). При этом доля импортного кокса в общем объеме поставок составила 3,4%.