

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

На правах рукописи

В. А. ВЕХОВ
(докторант ИГИ АН СССР)

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОКС
ИЗ ГАЗОВЫХ УГЛЕЙ
КУЗБАССА

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ,
ПРЕДСТАВЛЕННОЙ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Москва — 1954

Явлениям природы свойственны внутренние противоречия, ибо все они имеют свою отрицательную и положительную сторону, свое прошлое и будущее, свое отживающее и развивающееся ... борьба этих противоположностей, борьба между старым и новым, между отмирающим и нарождающимся, между отживающим и развивающимся, составляет внутреннее содержание процесса развития, внутреннее содержание превращения количественных изменений в качественные.

И. В. Сталин

ВВЕДЕНИЕ

По грандиозным планам экономического развития нашей Родины добыча угля и производство черного металла в ближайшие пятилетия должны увеличиться в два-два с половиной раза по сравнению с уровнем 1950 г. Соответственно этому должно увеличиться и производство кокса.

Основным сырьем для получения кокса в настоящее время, на большинстве заводов, за исключением некоторых, как в Донбассе, так и в Кузбассе, являются коксовые и жирные угли. Дальнейшее развитие коксохимической промышленности потребует значительного расширения угольно-сырьевой базы за счет других марок углей. В связи с этим должно значительно возрасти использование для коксования углей «резервных марок» и, в частности, низкой (газовых) и высокой (тощих) степеней метаморфизма. Поэтому вопрос широкого внедрения газовых углей для производства кокса является актуальной задачей нашего народного хозяйства.

Учитывая имеющийся опыт использования газовых углей Кузбасса для производства кокса и изучая сущность и закономерности пиролиза различных углей, мы стремились выяснить механизм структурных преобразований угольного вещества в процессе образования кускового кокса с тем, чтобы установить

оптимальные условия коксования и разработать теоретическое обоснование процесса получения металлургического кокса из шихт с большим содержанием газовых углей.

Часть первая

ХАРАКТЕРИСТИКА, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕНИНСКИХ ГАЗОВЫХ УГЛЕЙ КУЗБАССА В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОКСА

Угли Ленинского месторождения могут служить типичными представителями газовых углей Кузбасса. Поэтому для решения поставленных в этой работе задач мы всегда пользовались в наших экспериментальных работах именно этими углями. В связи с этим в диссертации приведена физико-химическая характеристика этих углей (глава I); рассмотрен вопрос об их технологической классификации (глава 2) и обобщен опыт применения их в коксохимической промышленности (глава 3).

Глава I

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕНИНСКИХ ГАЗОВЫХ УГЛЕЙ КУЗБАССА

Угли Ленинского месторождения Кузбасса имеют полосчатое строение и сложены главным образом из блестящих и полублестящих петрографических разновидностей, содержание которых в пластах достигает 80—90%. Полуматовый уголь встречается во всех пластах в виде редких и маломощных прослоек. Фюзен (до 5—7%) распределен в углях отдельных пластов неравномерно и встречается в виде линз различной величины. Различие между пластами, а также наблюдаемое региональное изменение углей на значительном простирании связаны почти исключительно с изменением степени их метаморфизма.

По нашим исследованиям многие пласты этих углей содержат прослойки породы различной мощности. Порода из прослоек не всегда удается легко отделять от угля при его добыче, поэтому некоторые ленинские угли бывают сильно загрязнены минеральными примесями и не могут без предварительного обогащения применяться для коксования. Зольность по пластово-промышленным пробам иногда достигает 30%. Зольность товарных углей колеблется в пределах 4—13%. Повышенная зольность может легко снижаться путем мокрого обогащения.

Выход летучих веществ на горючую массу из этих углей колеблется в пределах 39—41% и в отдельных случаях дости-

72474

гает 44%. По содержанию углерода и кислорода ленинские угли отличаются большим разнообразием. Колебания в содержании углерода на горючую массу составляют 77—85%, а в содержании кислорода 5—14%. Ленинские угли содержат большое количество водорода — 5—6% и азота — 2—3%. Среди этих углей самыми молодыми являются угли Журиной группы, содержащие наименьшее количество углерода (до 81%) и повышенное количество кислорода (свыше 11%).

В соответствии с разнообразием элементарного состава эти угли характеризуются и разнообразием технологических свойств. По данным пластометрических исследований лучшей спекаемостью отличаются угли шахт: «А», им. Ярославского и им. Кирова, а также шахты «Комсомолец». Пластометрические показатели по коксующимся углям этих шахт колеблются в пределах: усадка — 25—35 мм; пластический слой — 15—20 мм.

Спекающиеся угли остальных шахт: «7-го ноября», Польшаевской, № 1, № 2, «Новой» имеют в большинстве случаев небольшой пластический слой, часто менее 10 мм, и усадку более 40 мм, а угли шахты Журиной обычно совсем не образуют пластического слоя и не спекаются. Все ленинские угли отличаются большим выходом первичной смолы — свыше 10—15%.

Широкое использование этих углей для коксования имеет особый интерес по следующим причинам: с одной стороны, они увеличивают выход таких ценных продуктов, как газ и смола, с другой стороны, Кузбасс обладает огромными, неисчерпаемыми запасами газовых углей, спрос на которые в настоящее время не соответствует имеющимся возможностям эксплуатации. Эти угли представляют собой также ценное сырье для газовой и различных других отраслей промышленности.

Всестороннее и форсированное изучение этих углей как химического сырья и технологическое их освоение будут способствовать развитию производительных сил Кузбасса.

Глава 2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СПЕКАЕМОСТИ УГЛЕЙ КУЗБАССА И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Вопрос о классификации углей отдельных месторождений Кузбасса не может рассматриваться изолированно, без взаимосвязи с углями других месторождений. Поэтому прежде чем перейти к технологической группировке ленинских углей, мы должны рассмотреть классификацию углей Кузбасса в целом.

В течение длительного времени эксплуатации различных угольных месторождений как у нас, так и за границей, было

разработано много различных классификаций каменных углей. Тем не менее еще не разработана такая научная и промышленная классификация, которая отвечала бы полностью запросам как добывающей (угольной), так и потребляющей промышленности. К этому следует добавить, что классификации, разработанные Г. Л. Стадниковым и некоторыми другими авторами, не являются научно обоснованными. Все это указывает на большую сложность этого вопроса.

Классификация углей Кузбасса впервые была разработана по принципу классификации донецких углей Н. М. Караваевым и И. Б. Рапопортом в 1929 г. Эта классификация в несколько измененном виде применяется до настоящего времени, хотя и имеет много существенных недостатков. В частности, за неимением ничего лучшего в момент ее разработки, она базировалась на примитивном методе определения спекаемости (по корольку), на выходе летучих веществ и теплотворной способности углей.

Дальнейшие работы по классификации углей Кузбасса: Л. М. Сапожникова, Н. П. Чижевского и Г. Н. Дмитриева, И. В. Геблера и др. представляли собой несомненные достижения, особенно диаграмма Л. М. Сапожникова. Но в то время не было еще данных для технологической группировки этих углей.

Только в 1941 г., на основе большого опыта, накопленного в угольной и коксохимической промышленности и в науке, Восточному углехимическому институту удалось разработать классификацию кузнецких коксующихся углей на основе пластометрического метода определения спекаемости, внедренную в промышленность ГОСТ'ом 1280-41. Этот стандарт сыграл в свое время важную роль в постановке контроля на шахтах Кузбасса и способствовал улучшению качества углей, отгружаемых для коксования. В последующем он был переработан и заменен новым вариантом, разработанным в том же Восточном углехимическом институте, — ГОСТ'ом 1280-48.

Таким образом, в настоящее время наряду с общей, упомянутой ранее, маркировкой кузнецких углей, существует технологическая группировка некоторых коксующихся углей Кузбасса по ГОСТу 1280-48. Недостатком последней является отсутствие общей системы, охватывающей все угли Кузбасса, поскольку она ограничивается лишь лучшими коксующимися углями Кузбасса, применяемыми в настоящее время для коксования. Другие коксующиеся угли, такие, как например, чертинские, не находят пока себе место в этой технологической группировке. То же самое следует сказать относительно кемеровских углей, для которых вопрос классификации также еще не решен.

Необходимо отметить, что нет еще и ясных представлений о том, что должно вкладываться в понятие об упомянутых выше промышленных марках и какова должна быть взаимосвязь между промышленными марками и технологическими группами, чем вызывается необходимость последних. Это тормозит решение вопросов промышленной маркировки и технологической группировки углей.

1. Промышленная маркировка углей. По представлениям автора, промышленные марки должны указывать прежде всего направление промышленного использования тех или иных углей. Для этой цели автором предлагается разбивка¹ углей на следующие пять видов (см. табл. 1).

Таблица 1

| № п/п | Виды угля | Обозначения | Характерные особенности угля | Назначение |
|-------|----------------------------------|-------------|--|---|
| 1 | Коксующиеся | К | Спекающиеся | Для коксования |
| 2 | Для химической переработки | Х | Угли с выходом смолы выше 10% | Для полукоксования, гидрирования, газификации с отъемом первичной смолы и т. д. |
| 3 | Энергетические — газификационные | Г | Термически стойкие, слабоспекающиеся и неспекающиеся | Для газификации. |
| 4 | Энергетические | Э | Термически стойкие и нестойкие, слабо спекающиеся | Для обычных и механизированных топок |
| 5 | Энергетические — специальные | С | Газовые и тощие, неспекающиеся | Для топок с большим объемом или требующих пылевидного топлива |

Кроме указания о направлении использования топлива, промышленные марки должны включать один из важнейших показателей, определяющих свойства углей. Наиболее подходящим для этой цели показателем, по мнению автора, может служить степень метаморфизма углей, которую с некоторым приближением, как это обычно и делается, мы можем выражать выходом летучих веществ из углей (v^r).

¹ В последующем эта разбивка может быть уточнена.

Для наименования различных степеней метаморфизма в этой маркировке нами приняты обычные термины, которыми пользуются в промышленности: газовый, жирный, тощий, антрацит и т. д. Однако наименование «коксовый», совмещающее два понятия — степень метаморфизма и промышленное использование угля, в целях устранения двоякого смысла, нами рекомендуется заменить наименованием «нежирный», которое должно означать только стадию метаморфизма. Это необходимо еще и потому, что предлагаемая нами схема маркировки должна охватывать по степени метаморфизма не только коксующиеся угли, но и угли, применяемые для всех других целей — и в качестве топлива и в качестве технологического сырья.

В соответствии с этим мы намечаем семь периодов (см. табл. 2), разделяющих угли (в зависимости от выхода летучих веществ) по степени метаморфизма: газовый, жирный, полужирный, нежирный, полутощий, тощий, антрацит. Причем каждое направление промышленного использования топлива должно иметь свои марки подходящих углей, различающихся между собой по выходу летучих веществ и подлежащих самостоятельному изучению в соответствии с условиями их применения.

Предлагаемая схема промышленной маркировки углей и уточнение представлений о марках позволит, по нашему мнению, быстро систематизировать наши знания о свойствах разнообразных углей Кузбасса и наметить пути наиболее целесообразного их использования.

2. Технологическая группировка углей. В настоящее время можно считать доказанным, что, вопреки первоначальным представлениям, угли одной и той же степени метаморфизма, а следовательно, и одной и той же марки, могут значительно отличаться по своим свойствам в зависимости от химического и петрографического состава и от степени их восстановленности. Поэтому разделение углей только на приведенные выше промышленные марки не может удовлетворить разнообразные запросы потребляющей промышленности. В связи с этим возникает необходимость разбивать угли каждой марки дополнительно на технологические группы, как это впервые было предложено ВУХИНОм в ГОСТе 1280—48 для коксующихся углей.

Такая разбивка углей на технологические группы должна производиться по каждому из приведенных выше (см. табл. 2) направлений промышленного использования углей. Основанием для этой группировки должен служить один из важнейших показателей, которым пользуется данная отрасль промышленности для контроля за качеством углей. В производстве кокса,

Промышленная классификация углей Кузбасса

| Периоды | Стадии метаморфизма углей | Символ | V _Г , % | Направление промышленного использования углей /1 | | | | |
|---------|---------------------------|--------|--------------------|--|--------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| | | | | Коксующиеся "К" | Для химической переработки "Х" | Энергетические газификационные "Г" | Энергетические "Э" | Энергетические специальные "С" |
| 1 | Газовый | Г | >35 | ГК | ГХ | ГГ | — | ГС |
| 2 | Жирный | Ж | 28—35 | ЖК | — | ЖГ | ЖЭ | — |
| 3 | Полужирный | ПЖ | 22—28 | ПЖК | — | ПЖГ | ПЖЭ | — |
| 4 | Нежирный | НЖ | 18—22 | НЖК | — | НЖГ | НЖЭ | — |
| 5 | Полутощий | ПТ | 13—18 | ПТК | — | ПТГ | ПТЭ | — |
| 6 | Тощий | Т | 8—13 | ТК? | — | ТГ | — | ТС |
| 7 | Антрацит | А | 1—8 | АК? | — | АГ | — | АС |

Промышленные марки

* Дополнительные пояснения о каждом виде топлива см. в табл. 1.

например, таким основным показателем может служить спекаемость, определяемая тем или другим методом.

В соответствии с этим разбивка промышленных марок коксующихся углей Кузбасса на технологические группы по спекаемости может быть произведена по схеме, приведенной в табл. 3. Эта технологическая классификация коксующихся углей Кузбасса, помимо разделения углей на периоды по степени метаморфизма, по содержанию летучих веществ (см. табл. 2), предусматривает разбивку углей на технологические группы, различающиеся между собой по спекаемости углей.

Нами принято шесть технологических групп, разделяющих угли на подстадии по степени метаморфизма и по степени восстановленности, характеризующихся определенной спекаемостью, в данном случае толщиной пластического слоя (см. табл. 3):

| | | |
|------------|----------------------------|-----------------|
| 1-я группа | — слабо спекающиеся угли | У = 0—5 мм |
| 2-я | » — умеренно | » » У = 5—10 » |
| 3-я | » — хорошо | » » У = 10—15 » |
| 4-я | » — очень хорошо | » » У = 15—20 » |
| 5-я | » высокой спекаемости угли | У = 20—25 » |
| 6-я | » наивысшей | » » У = 25—40 » |

Кроме сказанного в этой технологической классификации предусмотрено деление каждой группы углей на 4 подгруппы по выходу первичной смолы. Этот показатель часто имеет большое значение для характеристики технологических свойств углей.

Как показали наши исследования (см. главу VI), при коксовании углей количество выделяемой первичной смолы отражается не только на выходе химических продуктов, но и на прочности получаемого кускового кокса.

На основании данных, приведенных в главе VI (стр. 24), мы предлагаем разделение углей Кузбасса по выходу первичной смолы на следующие 4 подгруппы (см. табл. 3):

1. Очень смолистые, с выходом смолы выше 10%
2. Смолистые » » 8—10%
3. Умеренно смолистые » » 5—7%
4. Малосмолистые » » меньше 4%

Хотя деление углей на указанные выше периоды и группы является условным, однако оно давно оправдано практикой и является необходимым, тем более, что подобное деление позволяет охватить определенной системой все многообразие как известных, так и неизвестных углей, встречающихся в природе.

Технологическая классификация коксующихся углей Кузбасса

| Периоды | Стадии метаморфизма | Марки коксующихся углей | V _г , % | Технологические группы по спекаемости (подстадии по степени метаморфизма и восстановленности в зависимости от петрографического состава) | | | | | | № подгрупп | Выход первичной смолы в % | | |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|--|--------------------------------------|----------------------------------|---|-------------------------------------|--|------------|---------------------------|------|---|
| | | | | 1. Слабо-спекающиеся У=0—5 мм | 2. Умеренно-спекающиеся У=5—10 мм | Хорошо спекающиеся У=10—15 мм | 4. Очень хорошо спекающиеся У=15—20 мм | 5. Высшей спекаемости У=20—25 мм | 6. Наивысшей спекаемости У=25—40 мм | | | | |
| 1 | Газовый | ГК | >35 | Г1 | Г2 | Г3 | Г4 | Г5 | Г6 | 1 | 10 | < | |
| 2 | Жирный | ЖК | 28—35 | Ж1 | Ж2 | Ж3 | Ж4 | Ж5 | Ж6 | 2 | 8—10 | < | |
| 3 | Полужирный | ПЖК | 22—28 | ПЖ1 | ПЖ2 | ПЖ3 | ПЖ4 | ПЖ5 | ПЖ6 | 3 | 7—10 | < | |
| 4 | Нежирный (коксовый) | НЖК | 18—22 | НЖ1 | НЖ2 | НЖ3 | НЖ4 | НЖ5 | — | 4 | 7—10 | < | |
| 5 | Полутощий | ПТК | 13—18 | ПТ1 | ПТ2 | — | — | — | — | 5 | 7—10 | < | |
| 6 | Тощий | ТК? | 8—13 | Т1? | — | — | — | — | — | 6 | 8—10 | < | |
| 7 | Антрацит | АК? | 1—8 | А1? | — | — | — | — | — | 7 | 10 | < | |
| Подстадии по выходу первичной смолы | | | | | | | | | | | 1 | 10 | < |
| | | | | | | | | | | | 2 | 8—10 | < |
| | | | | | | | | | | | 3 | 7—10 | < |
| | | | | | | | | | | | 4 | 7—10 | < |
| | | | | | | | | | | | 5 | 10 | < |
| | | | | | | | | | | | 6 | 8—10 | < |
| | | | | | | | | | | | 7 | 7—10 | < |

Так, например, в случае Кузбасса, угли Ленинского месторождения с выходом летучих веществ свыше 37% на горючую массу, хорошо разделяются на технологические группы без отступления в 1-м периоде нашей классификации: неспекающиеся угли шахты Журиной размещаются в первой группе этого периода; угли шахты Польшаевской во второй группе; угли имени Ярославского с пластическим слоем 15—20 мм в 4-ой группе того же периода и т. д.

Чертинские угли Кузбасса с пластическим слоем свыше 25 мм и выходом летучих веществ выше 37% располагаются в 6-й группе того же 1-го периода.

Угли Осинского месторождения Кузбасса, с выходом летучих веществ в пределах 25—35% на горючую массу и с пластическим слоем выше 25 мм, будут относиться к 6-й группе 2 и 3-го периодов.

Так же хорошо группируются угли Кемеровского пласта из шахт Северной и Южной, в отношении маркировки которых не было согласованности. Эти угли дают выход летучих веществ в пределах 28—35% на горючую массу и имеют пластический слой 10—13 мм. На основании этих показателей они и относятся к 3-й группе 2-го периода нашей классификации.

Уголь того же пласта из шахты Ягуновской, с содержанием летучих веществ 24—28%, с пластическим слоем до 18 мм, располагается в 4-й группе 3-го периода. Неспекающиеся угли пластов Владимировского и Волковского того же месторождения попадают в 1-ю группу и 2 и 3-го периодов той же классификации.

Прокопьевские угли размещаются следующим образом: коксовые жирные — соответственно в разных группах 2-го и 3-го периодов; коксовые и полутощие — в группах 4-го и 5-го периодов; тощие — в 1-й группе 6-го периода.

Первые три периода нашей системы заполнены известными углями полностью, 4-й и 5-й не до конца, остальные только в начале. Это объясняется тем, что в периодах, начиная с полутощих углей, с повышением степени метаморфизма, основной показатель технологической ценности углей — спекаемость — сильно снижается. В случае антрацитов этот показатель становится равным нулю независимо от петрографического состава.

Следовательно, построенная нами по указанному принципу технологическая классификация коксующихся углей Кузбасса, учитывающая качественные изменения углей в зависимости от их количественных изменений, т. е. от изменений в структуре основной органической массы веществ углей в зависимости от петрографического состава, степени восстановленности и степени метаморфизма, позволяет без всяких отступлений разделять

коксуемые угли любой марки по их свойствам на определенные технологические группы.

При построении этой классификации и размещении на ней кузнецких углей нами установлено, что их свойства, и особенно спекаемость, закономерно изменяются как по периодам, в которых наблюдается постепенное увеличение толщины пластического слоя углей слева направо, так и по группам — сверху вниз, где происходит увеличение вязкости пластической массы углей и плотности получаемого из них кокса.

В связи с установленной в данной системе периодичностью изменений свойств углей по спекаемости при переходе от периода к периоду, по мнению автора, можно предполагать и периодичность изменений в структуре основного витренизованного вещества углей в том же порядке, поскольку спекаемость углей зависит, несомненно, в первую очередь от структуры веществ, входящих в их состав.

Для завершения работ по всесторонней технологической характеристике углей Кузбасса, с нашей точки зрения, в дополнение к приведенной в табл. 2 промышленной маркировке, должны быть разработаны схемы для технологической группировки углей, применяемых не только для коксования (табл. 3), но и во всех других направлениях (табл. 2). Естественно, что эта работа может быть выполнена путем привлечения соответствующих специалистов и выходит за пределы наших исследований, намечающих только общую схему промышленной маркировки и технологической группировки коксуемых углей.

Предлагаемые в нашей схеме промышленные марки, дополнительно разбиваемые на технологические группы в зависимости от свойств углей, будут, следовательно, отличаться от прежних неопределенных марок и будут ближе отражать как разнообразие углей, так и интересы различных отраслей промышленности, использующих уголь в качестве технологического сырья или в качестве топлива.

Что касается ленинских газовых углей, то на основании предлагаемой нами технологической классификации они разбиваются, подобно ГОСТу 1280—48, на 4 группы в зависимости от спекающих свойств, а именно:

| Обозначение групп | | Пластометрические параметры | |
|-------------------|------------------------|-----------------------------|-------|
| По ГОСТу 1280-48 | По новой классификации | х | у |
| Г1 | Г4 | 20—38 | 17—25 |
| Г2 | Г3 | 40—36 | 13—16 |
| Г3 | Г2 | более 40 | 7—12 |
| Г4 | Г1 | более 60 | 0—6 |

Следовательно, деление коксуемых углей Кузбасса по предлагаемой нами классификации совпадает с их делением на те же группы по ГОСТу 1280—48. Вместе с тем, новая система охватывает и те угли (например кемеровские или чертинские), которые не укладывались в технологическую группировку по ГОСТ 1280—48. Применение новой классификации устранит затруднения в технологической группировке углей, так как эта классификация включает в себе как все известные, так и неизвестные пока в Кузбассе угли, подобно тому как периодическая система элементов Менделеева включает как известные, так и неизвестные элементы.

Таким образом уточняются наши представления о промышленных марках и технологических группах углей и предлагается новая технологическая классификация углей Кузбасса, вскрывающая единство природы этих углей, их внутреннюю структурную связь и периодичность в изменении их свойств.

Глава III

ИСПЫТАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ЛЕНИНСКИХ ГАЗОВЫХ УГЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОКСА

Изучение свойств и выяснение оптимальных условий коксования ленинских газовых углей были начаты вскоре после пуска в 1924 году первого коксохимического завода в Кузбассе. Большой интерес в этом отношении представляют работы Н. А. Никольского, Н. П. Чижевского, С. И. Панченко и Н. С. Грязнова.

На основании первоначальных исследований (1924—1935) были сделаны выводы, что коксование ленинских газовых углей требует одновременного большого содержания (порядка 60%) в шихте дефицитных прокопьевских углей.

Необходимо отметить, что контроль за качеством коксуемых углей, и особенно за их спекаемостью, на шахтах Кузбасса стоял тогда на очень низком уровне — по корольку. Вследствие этого окисленные угли, непригодные для коксования, могли смешиваться с неокисленными и направляться для коксования. Поэтому заводы долго не могли наладить производство нормального металлургического кокса.

Пластометрический метод Л. М. Сапожникова был внедрен автором данной работы с сотрудниками на коксохимических заводах и большинстве рудников Кузбасса только в 1933—1934 гг. В последующем, при помощи этого метода, была разработана и внедрена методика определения границ окисленного угля на выходах пластов и был налажен строгий

контроль за установлением на шахтах Кузбасса этих границ и за выдачей коксующихся углей только с горизонтов, ниже границ окисления. На основании накопленных материалов пластометрического исследования углей Кузбасса в 1938 году при участии автора впервые были разработаны нормы браковочных пределов коксующихся углей Прокопьевского месторождения. Последующее их уточнение и изучение технологических свойств углей позволило ВУХИНу разработать и внедрить в промышленность ГОСТ 1280-41, а затем ГОСТ 1280-48.

Установление границ окисления на рудниках Кузбасса, разделение окисленных и неокисленных углей, установление браковочных пределов по пластометрическим показателям для коксующихся углей и группировка их по технологическим свойствам, все эти мероприятия значительно облегчили заводам работу по улучшению технологии коксования кузнецких углей и по освоению газовых углей. В результате этого в 1939 год один из заводов Кузбасса был переведен на производство кокса из шихт, содержащих до 35% и более газовых углей.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что имеются уже серьезные достижения в деле внедрения газовых углей в производство, однако оптимальные условия их применения еще не выяснены. Поэтому работы в этом направлении должны продолжаться.

Часть вторая

ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА КОКСОВАНИЯ ГАЗОВЫХ И ДРУГИХ УГЛЕЙ КУЗБАССА

Как видно из предыдущего, к настоящему времени проделана большая работа по изучению химического состава и технологической группировке газовых и других углей Кузбасса.

Имеется большой опыт применения ленинских углей в промышленности. Однако еще не сделано теоретического обобщения этого опыта и не разработана теория процесса спекания, которая отвечала бы запросам практики и способствовала бы дальнейшему и всестороннему развитию технологии коксования газовых и других углей.

Прежде чем перейти к вопросу о теории процесса спекания газовых углей (см. главу VI), мы должны познакомиться с достижениями по изучению процесса спекания (см. главу IV) и по изучению химической структуры веществ, входящих в состав углей (см. главу V), так как от особенностей последней, в первую очередь зависит поведение углей в процессе их спекания.

Глава IV

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ СПЕКАНИЯ УГЛЕЙ

По вопросу определения пригодности углей для коксования существуют два понятия:

а) *Спекаемость углей* или способность самостоятельно давать сплавленный или спеченный кокс. Для определения спекаемости иногда пользуются так называемыми инертными добавками (песок, кокс). Это позволяет получать числовые характеристики спекаемости независимо от марки угля.

б) *Коксуемость углей* — это технологические свойства или способность угля в соответствии с его технологической группой или товарной маркой участвовать в шихте углей для коксования и обеспечивать получение нормального промышленного кокса.

На практике часто эти понятия не различаются. Естественно, что когда речь касается технологии, удобнее пользоваться термином «коксующие» свойства.

Спекаемость углей и их коксующие свойства зависят, в первую очередь, от их поведения в стадии пластического состояния, поэтому спекаемость следует рассматривать параллельно с изучением поведения углей в этой стадии.

Величина и форма кусков кокса во многом зависят от характера и величины усадки углей. Это необходимо также учитывать при изучении коксуемости углей.

Простейшим и старейшим способом определения спекаемости углей является рассмотрение вида корольков кокса, получаемых при тигельном коксовании. На протяжении многих десятилетий внешний вид корольков, наряду с выходом летучих веществ, был единственным методом, которым руководствовались практики коксового дела при ведении производства. Однако теперь, когда разработаны новые, более совершенные методы, тигельная проба потеряла свое значение и ею пользуются лишь как предварительной в особо срочных случаях. Для этой цели имеется специальная шкала спекаемости по виду корольков кокса.

Современные методы оценки спекаемости углей, как уже говорилось, связаны с изучением поведения углей в пластическом состоянии. Особенно успешными оказались исследования углей пластометрическим методом. Эти исследования позволили Л. М. Сапожникову систематизировать наши представления о спекаемости различных углей и их смесей и пересмотреть существовавшие ранее представления о самом процессе спекания.

В соответствии с поведением различных углей в пластическом состоянии, в настоящее время признаются три теории спекания и образования кокса: 1) теория плавления (жирные и коксовые угли); 2) теория цементации (некоторые газовые угли) и 3) выдвинутая Л. М. Сапожниковым теория склеивания (тощие спекающиеся).

В настоящее время задача заключается в том, чтобы на основе имеющегося большого опыта разработать новые представления о процессе спекания, рассматривающие этот процесс с единой точки зрения для всех углей.

Естественно, что новая общая теория спекания должна разрабатываться с учетом современных достижений по изучению химической структуры органической массы углей. Рассмотрению этого вопроса и посвящается следующая глава.

Глава V

СТРУКТУРА ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ СПЕКАНИЯ

Природа веществ углей изучалась при помощи самых различных методов: химических, физических, микроскопических, петрографических, рентгеноскопических и др.

Первоначально исследования велись каждым методом самостоятельно. Например, химические исследования производились без петрографических, и наоборот. Химические исследования производились главным образом на основе органической химии, без учета достижений химии высокомолекулярных соединений и т. д. Такой путь часто приводил к бесплодным, лженаучным выводам и теориям, как, например, теории о составе и происхождении каменных углей Ф. Фишера, затем Г. Л. Стадникова и некоторым другим, не подтвердившимся последующими исследованиями.

В настоящее время исследования углей ведутся комплексно самыми различными методами. Это позволило коренным образом пересмотреть наши взгляды на состав органической массы каменных углей и разработать современные макромолекулярные представления о структуре веществ углей.

Исходя из этих представлений, автор считает, что сущность химических превращений основного вещества углей при пиролизе и спекании заключается в том, что сначала макромолекулы витренизированных веществ претерпевают сложные превращения с разложением их на микромолекулы, что подтверждается небольшим молекулярным весом продуктов, получаемых при термическом растворении углей. Этим и объясняется возможность образования, в зависимости от петрографического

состава и возраста углей, плавких продуктов пиролиза¹. После этого от микромолекул отщепляются боковые группы и освобождаются химические связи, вследствие чего получают свое начало реакции поликонденсации или сополимеризации. В результате этого взаимодействия микромолекул вновь образуются макромолекулы, но более плотные и более термически стойкие. В основе структуры тех и других макромолекул лежит шестичленное кольцо, состоящее преимущественно из углеродных атомов.

Таким образом, спекаемость углей, а следовательно, и сплавленность и прочность получаемого при этом кокса и другие свойства углей находятся в зависимости от особенностей строения макромолекул веществ углей. В процессе пиролиза и спекания происходит постепенное изменение этого строения. Поэтому изучение сущности и динамики протекающих при пиролизе процессов, к чему мы переходим ниже, а также установление взаимосвязи между протекающими при спекании углей химическими и физическими превращениями позволит нам осветить вопрос о механизме спекания углей.

Глава VI

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОКСА ИЗ ШИХТ С БОЛЬШИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЛЕНИНСКИХ ГАЗОВЫХ УГЛЕЙ КУЗБАССА

Опираясь на приведенные выше материалы (глава IV) изучения поведения углей при их спекании и материалы выяснения структуры веществ (глава V), входящих в состав углей, мы предприняли изучение динамики пиролиза углей во всех стадиях коксования с тем, чтобы попытаться пересмотреть существующие представления о процессе спекания углей с учетом современных достижений науки.

О сущности протекающих при пиролизе и спекании углей превращений может дать некоторое представление динамика выделения летучих веществ.

Исследования, проведенные новым разработанным нами методом², позволяющим одновременно изучать динамику выделения газа, смолы и пирогенетической воды, каждого из этих веществ самостоятельно, показали, что выделение смолы и воды из углей при их пиролизе является функцией не только температуры, но и времени. Поэтому при нагревании углей

¹ Первоначально плавкие продукты пиролиза мы называли жидкими нелетучими продуктами пиролиза. См. «Изв. АН СССР» ОТН, № 2 и № 8, 1949.

² «Изв. АН СССР», ОТН, № 2, 1949, 258.

до 550° для отгонки всей смолы требуется еще выдержка при этой температуре 15—30 минут. Если эту выдержку не делать, а продолжать нагреванием, то отгонка всей смолы заканчивается при более высокой температуре — 600—650°.

Этими же опытами установлено, что с увеличением скорости нагревания угля уменьшается выход полукокса и газа; наоборот, выход смолы увеличивается; удельный вес газа уменьшается. Ускорение подъема температуры, очевидно, приводит к более интенсивному разложению угля с образованием большого количества плавких веществ. На последнее обстоятельство косвенно указывает увеличение выхода смолы, а также, как это было установлено нами, увеличение «чисел мягкости» (по Геблеру) со скоростью нагревания.

Пирогенетическая вода во всех наших опытах выделялась почти равномерно, начиная с температуры около 180—200° — характерной точки для начала термического разложения углей. Особенно большое количество воды отгонялось в случае журинского угля. Выделение пирогенетической воды обычно продолжалось до температуры 600—700°.

Начало выделения газообразных и парообразных веществ (200—400°) находится в некоторой зависимости от степени метаморфизма углей и от скорости их нагревания. Чем моложе уголь, тем раньше и в большей степени он разлагается. С увеличением скорости нагревания этот процесс обычно начинается при повышенной температуре.

Выделение газообразных веществ у всех испытанных нами углей от газовых до коксовых — жирных, при их постепенном нагревании до 1000°, количественно было почти одинаковое и составляло 2000—2500 куб. см. на 10 г. угля. Оно усиливалось к концу пластического периода и особенно энергично происходило в начале стадии полукокса, достигая максимума около 600°, затем выделение газа снижалось.

Выделение первичной смолы, наоборот, количественно резко различалось в зависимости от степени метаморфизма углей. В условиях наших опытов основная часть смолы выделялась в интервале температур 400—600° с максимумом около 500°. У ленинских углей этот максимум с повышением скорости нагревания перемещался в сторону более высокой температуры. Одновременно, как уже говорилось ранее, наблюдалось увеличение выхода, а следовательно, и скорости выделения смолы.

Таким образом, количество выделяющихся первичных газообразных веществ у различных спекающихся углей Кузбасса приблизительно одинаково, а смолы — разное. Следовательно, скорость выделения смолы и является тем переменным фактором, который вызывает развитие различной трещиноватости

кокса, особенно с увеличением скорости нагревания. Это подтверждается тем, что прочность кокса при самостоятельном коксовании углей Кузбасса постепенно повышается от газовых углей к коксовым, параллельно со снижением выходов смолы. Однако эти выводы нельзя механически переносить на тощие угли и на угли других месторождений.

На основании литературных данных и приведенных выше исследований можно наметить следующие стадии и характерные температурные точки перехода угля из одного состояния в другое в процессе пиролиза:

1. Стадия подсушки — до 100°C. В этой стадии удаляется влага, содержащаяся в углях.

2. Стадия сухого угля — до начала энергичного выделения пирогенетической воды — 150—200° С — в зависимости от возраста угля. В конце этой стадии начинаются химические превращения однородного витринизированного вещества. С этого момента уголь изменяет свою структуру.

3. Стадия образования плавких и неплавких веществ до момента «плавления угля» — 330—400° С. В этой стадии, по мнению автора, одновременно с выделением пирогенетической воды происходит разложение макромолекул на микромолекулы и образование веществ, способных плавиться при более высоких температурах, что подтверждается, как уже говорилось, небольшим молекулярным весом продуктов, получаемых при термическом растворении углей. Соотношение образующихся плавких и неплавких веществ, в зависимости от температуры, степени метаморфизма угля и его петрографического состава, может характеризоваться переменными коэффициентами А и В. Вероятно, в этой же стадии начинаются и процессы конденсации, идущие первоначально с замедленной скоростью, что и отмечается началом выделения газа и смолы в конце этой стадии.

4. Стадия пластического состояния — до 420—480° С. В этой стадии, в зависимости от наличия или отсутствия в угле ранее образовавшихся при пиролизе плавких веществ, от их термической стойкости, качества и соотношения с неплавкими (А : В), уголь переходит в то или иное пластическое состояние, которое может быть охарактеризовано пластометрическими координатами. Под воздействием плавких неплавкие вещества могут набухать, а возникающее с выделением летучих веществ давление может приводить частички угля к полному или неполному поверхностному слиянию. Образование плавких веществ в этой стадии продолжается. Процессы конденсации усиливаются, что сопровождается быстро увеличивающимся выходом летучих веществ к концу этого периода.

В результате этих химических превращений с повышением

температуры, когда скорость реакций конденсации начнет опережать скорость реакции разложения, уголь переходит из пластического состояния в стадию полукокса.

5. Стадия полукокса — до $800-850^{\circ}\text{C}$. В этой стадии до 650°C продолжается образование тотчас разлагающихся и конденсирующихся вследствие высокой температуры плавких веществ, что сопровождается, в начале этого периода, еще более интенсивным выделением летучих веществ.

Ввиду непрерывного образования до 650°C кратковременно существующих плавких продуктов пиролиза, полукокс, несмотря на свою твердость, до указанной температуры обладает известной вязкостью. Этим и объясняется, что вплоть до этой температуры полукокс обычно прочно удерживается стенками приборов, в то время как выше этой температуры он легко отстает от них.

6. Стадия кокса отличается дальнейшим уплотнением вещества и постепенно убывающим выделением газообразных продуктов.

Таким образом, выделение летучих веществ в различные стадии пиролиза происходит неравномерно. Наиболее интенсивное их выделение, а следовательно, и течение физических и химических процессов пиролиза происходят в конце пластического периода и в начале стадии полукокса. Это, очевидно, и способствует преимущественному выходу летучих продуктов на горячую сторону пирога ввиду малой газопроницаемости пластического слоя. Такова, по мнению автора, сущность химических и физических превращений, протекающих в различных стадиях пиролиза и спекания углей.

Общая теория спекания. Приведенные выше исследования и установленная нами взаимосвязь в природе и свойствах углей (см. табл. 3), а также общеизвестный факт, что спекание не осуществляется без перехода угля в пластическое состояние, т. е. без образования в процессе пиролиза плавких веществ, наряду с неплавкими, заставляет нас прийти к заключению, что сущность спекания должна быть единой, и поэтому мы предлагаем общую теорию спекания как химическое и физическое взаимодействие образующихся плавких и неплавких продуктов пиролиза угля.

Эта общая теория должна охватить единой точкой зрения все разнообразие химических и физических процессов спекания углей от газовых до тощих, в соответствии с тремя упомянутыми выше теориями (цементации, плавления и склеивания), которые должны рассматриваться, как частные случаи предлагаемой нами общей теории, для освещения физической стороны процесса.

Сущность предлагаемой нами общей теории была изложена выше.

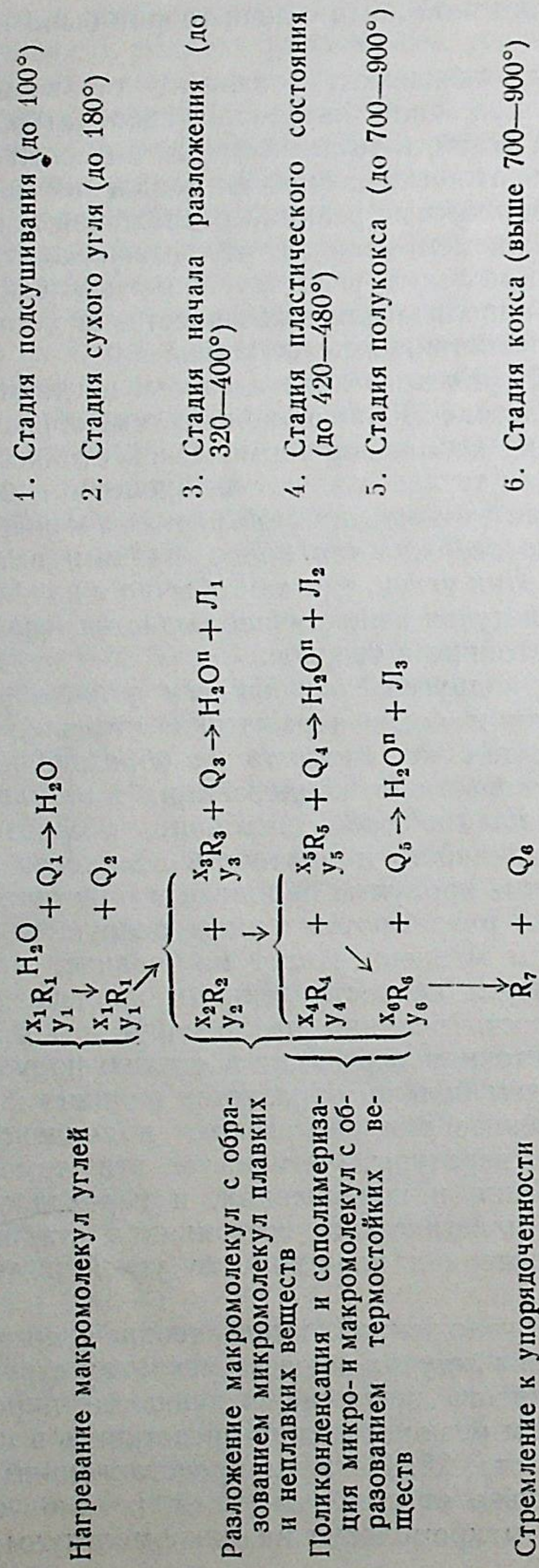
Таким образом, спекаемость зависит от возможности образования в том или ином интервале температур плавких продуктов пиролиза углей, а температурный интервал пластичности и коксуемость от температуры их плавления и разности в скоростях противоположных реакций разложения и конденсации. Кроме того, спекаемость зависит от термической стойкости как исходных макромолекул угля (степень зрелости), так и образующихся при пиролизе плавких веществ, от соотношения и характера взаимодействия их с неплавкими.

Молодые угли Журинского пласта совсем не дают пластического слоя вследствие малого количества образующихся плавких веществ и их небольшой термической стойкости. Процессы их конденсации тотчас следуют за процессом их образования. В этом случае скорость прямой реакции меньше противоположной. Это подтверждается более ранним выделением летучих веществ из этих углей, так как обычно с началом энергичного выделения летучих веществ наблюдается переход угля из пластического состояния в твердое.

Угли группы Г1 и другие коксующиеся угли образуют в больших количествах и более термически стойкие, плавкие продукты пиролиза, так как скорость их образования первоначально больше скорости их конденсации. В результате эти угли переходят в пластическое состояние, обеспечивающее в дальнейшем сплавленность и прочность полукокса и кокса. В этом случае плавкие продукты пиролиза в пластическом периоде лишь частично разлагаются и конденсируются и тем в большей степени, чем медленнее идет нагревание, до определенного момента, когда скорость реакции конденсации начнет опережать скорость реакций разложения и когда уголь из пластического состояния переходит в стадию полукокса.

Таким образом, чем больше образуется плавких продуктов пиролиза, чем медленнее они разлагаются и конденсируются до определенной температуры, чем выше эти температуры энергичного разложения и конденсации, и переход угольной загрузки из стадии пластического состояния в стадию полукокса, — тем шире интервал пластичности углей и лучше их коксующие свойства.

В соответствии с изложенной выше теорией спекания и с динамикой выделения летучих веществ механизм структурных преобразований угольного вещества в процессе пиролиза и протекающие при этом реакции можно представить в виде схемы, приведенной на стр. 22. По этим представлениям спекаемость зависит не только от природы углей, но и от скорости реакции разложения макромолекул на микромолекулы с обра-



Здесь: x и y — боковые группы; R — ядра макро- и микромолекул в процессе пиролиза; H_2O — влага, содержащаяся в топливе; H_2O^n — вода пирогенетическая; L_1, L_2, L_3 — летучие вещества; газ и смола; Q — тепло нагревания

зованием плавких и неплавких веществ и от скорости последующих реакций конденсации и сополимеризации, происходящих одновременно с отщеплением от микромолекул боковых групп.

Как показывают наши опыты и практика промышленности, скорость этих двух противоположных реакций поддается регулированию в нужном нам направлении. Так, по нашим исследованиям, с увеличением скорости нагревания текучесть пластической массы (числа «мягкости» — по И. В. Геблеру) сильно возрастает. Следовательно, увеличивая скорость нагревания, мы форсируем реакции разложения с образованием плавких веществ значительно больше, чем реакции конденсации, поэтому количество образующихся при пиролизе плавких веществ в пластической массе, существующей теперь более короткое время, становится больше, что и способствует лучшей сплавленности кокса. Того же самого мы можем достигнуть путем увеличения давления, задерживающего отрыв боковых цепей от микромолекул и тем снижающего скорость реакций конденсации. Более тонким дроблением углей мы улучшаем условия течения химических и физических превращений и т. д.

Используя эти возможности регулирования процесса коксования, мы уже сейчас добиваемся усовершенствования технологии и улучшения качества кокса. Задача, следовательно, должна заключаться в том, чтобы с позиций новых представлений о процессе спекания добиваться еще больших возможностей в этом направлении.

Важно также и то, что новые представления позволяют изучать с единой точки зрения процесс спекания углей с самыми различными свойствами. Это должно значительно облегчить дальнейшее развитие наших взглядов в этой области.

Механизм образования кускового кокса. Получение хорошего кускового кокса в камере коксовой печи зависит не только от спекания, но и от динамики усадки углей, зависящей в свою очередь от ряда показателей, в том числе и от динамики выделения летучих веществ. Наши исследования в пластометрическом аппарате с уменьшенной загрузкой угля показали, что максимальная усадка происходит в интервале температур 400—600°, т. е. как это было показано нами ранее, в период максимального выделения летучих веществ, в конце пластического периода и в начале стадии полукокса.

Количество и скорость выделения газообразных веществ из различных углей, если исключить пиролиз смолы, как это было сделано в наших опытах, резко не отличаются, в то время как выход и скорость выделения первичной смолы,

наоборот, находятся в зависимости от степени метаморфизма углей. Поэтому выход и скорость выделения первичной смолы из угля, имеющие место, как говорилось ранее, в том же узком интервале температур 400—600°, и являются одним из основных переменных факторов, от которых зависит скорость усадки полукокса из углей Кузбасса, а следовательно, и различная кусковатость металлургического кокса.

Для выделения всей первичной смолы требуется, как уже говорилось, не только нагревание угля до определенной температуры, но и время, в течение которого развиваются процессы. Поэтому с увеличением скорости коксования выделение смолы несколько задерживается.

Однако последующее более энергичное течение упомянутых химических процессов в стадии полукокса вызывает более быструю усадку, вследствие чего и увеличиваются трещиноватость и хрупкость кокса. Особенно ярко это явление проявляется у газовых углей Кузбасса, характеризующихся большим выходом смолы и требующих поэтому отошающих присадок при их коксовании.

Условия сочетания газовых углей с другими. Основанием для расчета и составления опытных и производственных шихт, в связи со сказанным, должны быть не только пластометрические параметры (X и Y), обеспечивающие различную сплавленность кускового кокса, но и скорость выделения смолы, характеризующаяся, допустим, показателем выхода первичной смолы при данной скорости нагревания, обозначаемым, например, буквой Z. Этот параметр в зависимости от скорости нагревания углей, степени их дробления и ряда других факторов вызывает различную динамику усадки и трещиноватость кокса, а следовательно, влияет на кусковатость металлургического кокса.

Оптимальные шихты из углей Кузбасса, как и хорошие коксовые угли, обеспечивающие самостоятельное получение металлургического кокса, по материалам наших исследований, имеют приблизительно следующие параметры $X = 30—40$ мм; $Y = 15—17$ мм; $Z = 5—7\%$.

Шихты с большей толщиной пластического слоя обеспечивают хорошую сплавленность кокса, но дают хороший кусковой кокс только при условии, что выход первичной смолы, т. е. показатель Z, не превышает 5—7%.

Шихты с большим содержанием газовых углей Кузбасса обычно при той же толщине пластического слоя имеют повышенный показатель Z (8—10%), этим вызывается необходимость тщательного выяснения и уточнения условий их коксования, к чему и переходим в следующей главе.

Приведенными показателями оптимальных шихт можно руководствоваться при составлении опытных и производственных шихт.

Часть третья

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ КОКСОВАНИЯ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОКСА ИЗ ШИХТ С БОЛЬШИМ СОДЕРЖАНИЕМ ГАЗОВЫХ УГЛЕЙ

Предыдущие исследования процессов пиролиза и спекания позволили нам разработать новую теорию, рассматривающую явление спекания, как процесс химического и физического взаимодействия образующихся при пиролизе углей плавких и неплавких веществ, протекающий через ряд стадий и характерных точек и допускающий возможность регулирования его в нужном нам направлении.

Факторы, влияющие на качество кокса в промышленности и допускающие возможность регулирования процесса коксования, чрезвычайно многочисленны; важнейшие из них следующие: качество углей, их обогащение, степень дробления, методология составления и состав шихт, порядок загрузки коксовых печей, равномерность их обогрева, температура, скорость и продолжительность коксования, способы охлаждения, сортировки и погрузки кокса и т. д. Учитывая эти факторы и изменяя их влияние в нужную сторону, коксохимическая промышленность Кузбасса добилась весьма существенных успехов в деле улучшения технологии коксования кузнецких углей и качества получаемого из них кокса. Этому способствовали, как отмечалось ранее (см. главы II и III), следующие мероприятия: улучшение контроля за качеством углей в связи с введением пластометрического метода, разбивка углей на технологические группы и последующая рационализация шихтовки, более тонкое дробление углей, улучшение техники загрузки и обогрева печей и т. д.

В соответствии с этим наши усилия должны быть направлены на дальнейшее изучение и использование влияния указанных факторов на процесс коксования в положительную сторону. Особенно это важно при коксовании шихт с большим содержанием газовых углей, отличающихся большим выходом смолы и требующих тщательного выяснения условий их коксования.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ КОКСОВАНИЯ И СОСТАВА ШИХТ С БОЛЬШИМ СОДЕРЖАНИЕМ ГАЗОВЫХ УГЛЕЙ КУЗБАССА НА ПРОЧНОСТЬ ПОЛУЧАЕМОГО КОКСА

Из всех перечисленных выше факторов, влияющих на прочность промышленного кокса, особенное значение имеют, по нашему мнению, скорость коксования и, несомненно, связанные с ней условия сочетания ленинских углей Кузбасса с другими, на чем мы уже останавливались ранее.

Переходя к изучению влияния на прочность кокса этих двух факторов, мы должны сначала рассмотреть существующие представления о скорости процесса коксования в современных быстроходных печах.

Применяемая для характеристики скорости коксования в настоящее время так называемая «скорость нагревания» $W_n = \frac{T}{\tau} = 85-93^\circ/\text{час}^1$, или иначе $1,5^\circ/\text{мин.}$, представляет собой некоторую среднюю величину, по которой лишь относительно можно судить о скорости данного процесса, происходящего, как известно, послойно.

С нашей точки зрения, значительно больший интерес представляет послойная скорость нагревания, представляющая собою некоторую переменную величину, изменяющуюся по кривой, медленно поднимающейся до 100° , быстро до $500-600^\circ$, затем снова медленно поднимающейся до 1000°C и выше. Эта послойная скорость коксования изменяется также в зависимости от расстояния слоя от нагревающей стенки и от расстояния точки в слое от пода вследствие неравномерности обогрева стенки по высоте камеры печи.

Наибольший интерес для производства, по нашему мнению, должна иметь послойная скорость коксования в интервале температур от 100 до 600° , которую мы предлагаем называть действительной или фактической скоростью коксования: $W_d = \frac{600-100}{\tau_x} = 180-600^\circ/\text{час}$. Этот интервал температур имеет особое значение потому, что, как это было установлено нами ранее (см. главу VI), в этом интервале температур протекают основные процессы, определяющие прочность будущего кокса, а именно — переход угля в пластическое состояние, а затем в полукокс; выделяется основная масса летучих веществ и, в частности, смола; происходит максимальная усадка и формирование кусков будущего кокса.

К этому следует добавить, что в зависимости от свойств

¹ T — температура коксования; τ — период коксования; τ_x — период коксования в зависимости от расстояния от стенки печи.

углей уже в пластометрическом аппарате (до 700°) мы получаем различный рисунок «цветной капусты» и различный granulометрический состав кокса, относительно определяющий тот характер кокса, который можно получить из данных углей и их смесей. Следовательно, интервал температур от 100 до 600° действительно является наиболее важным, и, следовательно, скорость коксования именно в этом интервале температур имеет наибольшее значение.

Как показывают наши расчеты, действительная (послойная) скорость коксования в интервале температур от 100 до 600° колеблется от $15-10^\circ$ (у стенки) до $2-3^\circ$ (в осевой плоскости печи) в минуту, что значительно превышает приведенные выше данные об «оптимальной» скорости нагревания шихты в современных быстроходных печах, причем большая часть угольной шихты в современных быстроходных печах коксуется с послойной скоростью порядка $3^\circ\text{C}/\text{мин.}$

Во всех наших рассуждениях о скорости коксования угольной шихты в коксовой печи мы имели в виду именно эту действительную скорость коксования.

1. Влияние скорости коксования и состава шихт из ленинских и анжерских углей на прочность кокса. Наши исследования показали, что прочность вещества кокса, получаемого при самостоятельном коксовании (до 700°) ленинских углей, постепенно возрастает с увеличением скорости нагревания с 1 до 6° в минуту. Прочность вещества кокса, получаемого при самостоятельном коксовании в тех же условиях анжерских углей, тоже постепенно увеличивается с повышением скорости нагревания с 1 до 9°C в мин. Что касается шихты из ленинских и анжерских углей в соотношении $1:1$, то она показала максимальную прочность вещества кокса при скорости нагревания 3° в минуту.

Таким образом, эти опыты подтверждают, что каждому углю или шихте необходим определенный температурный режим коксования. Одновременно эти опыты показывают, что оптимальная скорость коксования шихт с большим содержанием ленинских газовых углей определяется в 3° в мин., что подтвердилось последующими заводскими исследованиями (глава VIII).

На основании произведенного нами опытного коксования, мы можем сделать заключение, что присадка к газовым углям тощих спекающихся анжерских углей, при замедленной скорости коксования при температуре в горелочных каналах 1000° , весьма эффективно снижает трещиноватость и увеличивает выход крупных классов кускового кокса. Однако замедленная скорость коксования не обеспечивает хорошей сплавленности и этот кокс не отличается устойчивостью к истиранию. Поэто-

му пониженная температура коксования не может быть рекомендована для коксования газовых кузнецких углей.

Присадка к ленинским газовым углям тех же тощих спекающихся анжерских углей при их коксовании в современных быстроходных печах, в связи со значительным увеличением скорости выделения смолы менее эффективно снижает трещиноватость кускового кокса, зато этот кокс отличается хорошей сплавленностью и хорошо противостоит истиранию.

На основании наших представлений о процессе спекания эти результаты объясняются тем, что при коксовании в тихоходных печах, количество образующихся при пиролизе плавких веществ к моменту перехода пластической массы в полукокс становится недостаточным из-за частичной и преждевременной их конденсации, и поэтому получается плохо сплавленный кокс. В то же время при медленном коксовании выделение летучих веществ, а следовательно и смолы, происходит тоже с пониженной скоростью. Это приводит к равномерной усадке, и поэтому присадка тощих углей в этом случае хорошо снижает трещиноватость кокса.

При быстром коксовании, наоборот, количество образующихся плавких веществ к моменту перехода пластической массы в полукокс вполне достаточно, и они обладают большей текучестью и лучше взаимодействуют с неплавкими веществами, с которыми они должны быть ближе по природе из-за скорости процесса, поэтому и кокс получается хорошо сплавленным и хорошо противостоящим истиранию. Но при большой скорости коксования выделение летучих веществ и особенно смолы в интервале температур 400—600° происходит с увеличенной скоростью. Поэтому вполне понятно, что присадка тех же отошающих углей не может так же эффективно снижать трещиноватость кокса, как в предыдущем случае. Следовательно, при большой скорости коксования газовых углей необходимы дополнительные мероприятия, снижающие трещиноватость и хрупкость получаемого кокса. Единственным и проверенным пока средством дополнительного снижения трещиноватости кокса может служить, если так можно выразиться, самоотощение углей путем их тонкого дробления, что было доказано рядом исследований.

Таким образом, шихты с большим содержанием газовых углей Кузбасса следует коксовать при возможно более тонком помоле компонентов и с действительной скоростью нагревания основной массы шихты порядка 3°/мин. Современные быстроходные печи вполне обеспечивают эту скорость нагревания основной массы шихты, однако особенности их работы требуют дополнительных исследований, к чему мы и переходим в следующей главе.

ВЫЯСНЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШИХТ С БОЛЬШИМ СОДЕРЖАНИЕМ ГАЗОВЫХ УГЛЕЙ КУЗБАССА

Шихты с большим содержанием ленинских газовых углей Кузбасса обычно отличаются небольшой толщиной пластического слоя (14—16 мм), повышенным выходом летучих веществ (до 27%) и, что особенно важно, повышенным выходом первичной смолы (до 9%), которая выделяется при коксовании в интервале температур 400—600°, а затем вторичными процессами превращается в коксовую.

Коксование этих шихт, как только что было показано, необходимо производить в современных быстроходных печах. Но вследствие большой скорости выделения смолы из этих шихт в указанном интервале температур присадка отошающих углей в этом случае недостаточно эффективно снижает трещиноватость получаемого кокса. Поэтому в целях увеличения его прочности, компоненты шихты подвергаются тонкому дроблению. Таким образом удастся обеспечить получение удовлетворительного металлургического кокса. Однако процесс коксования указанных шихт, как это было показано работами Л. М. Сапожникова и Г. В. Сперанской, имеет некоторые особенности.

При отоплении современных быстроходных печей коксовым газом производится, как известно, перегрев низа печей по сравнению с верхом на 100—150° и более. Поэтому процесс коксования в нижней части печей идет быстрее, чем в верхней и заканчивается на 2 часа раньше. Различие в условиях коксования верхней и нижней частей угольной загрузки приводит к неоднородности качества кокса по высоте печей, особенно при коксовании упомянутых шихт, содержащих газовые угли.

По нашим представлениям, вследствие повышенной послойной скорости коксования, в нижней части печи в интервале температур 100—600° форсируется образование плавких продуктов пиролиза, а также выделение летучих веществ и особенно смолы.

Увеличение количества плавких веществ следует рассматривать здесь как положительное явление, так как оно улучшает сплавленность кокса. Увеличение скорости выделения смолы, наоборот, следует рассматривать при коксовании шихт с большим содержанием газовых углей как отрицательное явление, так как оно увеличивает скорость усадки, а следовательно, и трещиноватость и хрупкость кокса. Этому еще способствует, как показали наши исследования, последующая

передержка кокса в этой части печи в течение двух часов. Вот почему кокс из нижней части печи обычно получается хрупким.

Вследствие пониженной послойной скорости коксования в верхней части печи, особенно в интервале температур 100—600°, образующиеся плавкие продукты пиролиза частью конденсируются преждевременно, а выделение летучих веществ и особенно смолы замедляется.

Уменьшение количества плавких веществ к моменту перехода пластической массы в полукокс здесь следует рассматривать как отрицательное явление, так как оно приводит к ухудшению сплавленности полукокса и кокса и к увеличению его истираемости. Понижение скорости выделения летучих веществ и особенно смолы в интервале температур 100—600° в данном случае следует рассматривать как положительное явление, так как оно смягчает скорость усадки и уменьшает трещиноватость и хрупкость кокса. Поэтому кокс в верхней части камер коксовых печей получается в крупных кусках, но из-за плохой сплавленности отличается большой истираемостью.

Такое различие в качестве кокса из верхней и нижней частей печи, получаемого из шихт с большим содержанием газовых углей, указывает на необходимость их коксования при большой скорости современных быстроходных печей, однако условия коксования должны быть строго регламентированы — температура и продолжительность коксования должны быть точно согласованными, так как недодержка этого кокса вследствие понижения температуры или сокращения периода коксования резко сказывается на ситовом составе и сплавленности кокса из верхней части печи. Передержка вследствие повышения температуры или увеличения периода коксования будет вызывать повышенную трещиноватость и хрупкость кокса, получаемого из нижней части печи.

Однако хорошо отрегулированные печи для высокотемпературного коксования, при нормальном качестве углей, при помоле шихты 93% под сито 3 мм, и при выдаче кокса тотчас по его готовности могут обеспечить получение качественного кокса из упомянутых шихт, с показателями испытания его в барабане Сундгрена порядка 310—315 кг, что подтверждается практикой промышленности.

Опыт многих, выполненных за последнее время работ, а также практика работы заводов показывают, что для дальнейшего улучшения качества этого кокса необходимо:

1. Максимальное снижение перепада температур между верхом и низом коксовых печей, на что особенно следует обращать внимание в случае отопления печей коксовым газом;

2. Возможно тонкое дробление шихты;

3. Установление точного соответствия между температурой и продолжительностью коксования;

4. Выдачу кокса производить тотчас по его готовности.

Для контроля за выдачей кокса тотчас по готовности необходимо вести хотя бы периодический контроль за температурой в осевой плоскости пирога на расстоянии порядка 3200 мм от пода печей с тем, чтобы регулировать период коксования или температуру в горелочных каналах в зависимости от времени достижения температуры в указанной точке 900°. Это особенно необходимо при переходе от одного режима к другому.

5. Шихтовку ленинских углей следует производить с тощими спекающимися углями с пониженным выходом смолы. Однако, если они характеризуются низкими пластометрическими параметрами, например $Y = 6$ мм, то для получения кокса нормальной сплавленности в современных условиях коксования требуется соответствующая замена части их коксовыми отощенными или коксовыми углями так, чтобы смесь прокопьевских и анжерских имела пластический слой порядка 9—10 мм.

В случае применения газовых углей с пониженным пластическим слоем часть их должна заменяться жирными углями, чтобы опять-таки смесь газовых и жирных углей имела толщину пластического слоя около 18—20 мм. Добавка жирного угля благоприятна еще в том отношении, что она несколько снижает параметр Z шихты. После приготовления этих смесей расчет оптимального варианта шихты может производиться по приведенной ранее методике (см. главу VI).

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге проделанной работы получены следующие основные результаты:

1. Разработан ряд положений новой общей теории процесса спекания углей, как количественного и качественного взаимодействия образующихся плавких и неплавких продуктов пиролиза в зависимости от состава и свойств углей, скорости их нагревания и от ряда других факторов. Эта теория позволяет рассматривать процесс спекания углей всех марок с единой точки зрения и указывает возможные пути регулирования производства.

2. Дана новая схема пиролиза и спекания углей, увязывающая химические превращения с физическими.

3. Разработана новая методика, позволяющая одновременно изучить динамику выделения газа, смолы, и пирогенетической воды.

4. Уточнены существующие представления о промышленных марках и их взаимосвязи с технологическими группами.

5. Предложена новая технологическая классификация углей Кузбасса, вскрывающая единство природы этих углей, их внутреннюю структурную связь и периодичность в изменении их свойств.

6. Дано освещение механизма образования кускового кокса, учитывающее влияние скорости выделения первичной смолы в стадии полукокса на характер усадки и трещиноватость кокса, что имеет особенное значение при коксовании шихт, содержащих газосодержащие угли.

7. Выяснена необходимость при составлении шихт, содержащих газосодержащие угли, учитывать фактор скорости выделения смолы, отражающийся на скорости усадки, а следовательно, и на кусковатости кокса. Выход первичной смолы (фактор Z) в стадии полукокса из шихт, содержащих газосодержащие угли, не должен превышать 10%.

8. Выяснена необходимость коксования шихт, содержащих газосодержащие угли Кузбасса в современных быстроходных печах, так как замедленный режим не обеспечивает нормальной сплавленности и кусковатости промышленного кокса из этих шихт.

9. Установлена необходимость при изучении скорости нагревания шихты в современных быстроходных печах пользоваться показателем средней послойной скорости нагревания, более точно характеризующей действительную скорость процесса, чем обычно применяемая средняя скорость нагревания.

10. Выяснено, что средняя послойная скорость коксования в интервале температур 100—600° при коксовании шихт, содержащих газосодержащие угли, должна быть около 3° в минуту.

11. Установлено, что температура коксования шихт, содержащих газосодержащие угли Кузбасса, должна строго соответствовать продолжительности коксования, так как в связи с неравномерностью обогрева и пониженной скоростью процесса в верхней части печей в случае преждевременной выдачи получается плохо сплавленный кокс.

Суммируя эти результаты, мы можем сказать, что в итоге проведенных исследований разработан ряд положений для теоретического обоснования процесса получения металлургического кокса из шихт, содержащих газосодержащие угли Кузбасса, установлен необходимый тепловой режим промышленного коксования этих шихт и выяснены условия их составления.