

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**Опорний конспект лекцій по дисципліні
„Грудкування продуктів і сировини”**

**(для студентів спеціальності 7.090302,
„Збагачення корисних копалин”)**

Затверджено
Навчально-видавничою радою ДонНТУ
Протокол № від _____ 2008 р.

Схвалено на засіданні
методичної комісії спеціальності
„Збагачення корисних копалин”
Протокол № від _____ 2008р.

Донецьк – 2008 р.

УДК 622.7

Опорний конспект лекцій по дисципліні „Грудкування продуктів” (для студентів спеціальності 7.090303 „Збагачення корисних копалин”) / П.В. Сергєєв.-Донецьк: ДонНТУ, 2008.- с.

Опорний конспект лекцій є роздаточним матеріалом для студентів по дисципліні „Грудкування продуктів”. Наведено запитання для самоперевірки.

Укладач – П.В. Сергєєв

**ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
ПО ДИСЦИПЛІНІ
„ГРУДКУВАННЯ ПРОДУКТІВ”**

для спеціальності 7.090302 - "Збагачення корисних копалин"

Виписка з навчального плану

Семестр	Аудиторні години			СРС	Разом по дисципліні, годин	Вид контролю
	Лк	Ін.	Лаб			
9						

Лектор - Сергєєв П.В.

Лекція №1

ВВЕДЕННЯ В КУРС “ОГРУДКУВАННЯ ПРОДУКТІВ”

Питання, що виносяться на лекцію:

Сутність та призначення процесів грудкування, вимоги до вугільних брикетів, класифікація корисних копалин за здатністю до брикетування, зв'язуючі речовини і вимоги до них, складові процесу брикетування.

Сутність та призначення процесів огрудкування

Ощадливе та раціональне використання сировини у всіх галузях народного господарства є важливою умовою зростання промислового виробництва. Одним із прогресивних методів скорочення втрат, підвищення якості та поліпшення ефективності використання матеріальних ресурсів є *огрудкування*.

Огрудкування – це процес перетворення дрібнозернистих корисних копалин та відходів виробництва в кусковий продукт за рахунок механічних і (або) термічних впливів з використанням спеціальних домішок або без них. Використовується три різновиди процесу огрудкування: *агломерація, обкатування та брикетування*.

Агломерація - термічний спосіб огрудкування дрібних руд, концентратів і колошникового пилу шляхом їх спікання при нагріванні. *Обкатування* - процес огрудкування зволжених тонкоподрібнених матеріалів (60-80% класу -0,044 мм), заснований на здатності їх при перекочуванні утворювати гранули сферичної форми (окатиші) без застосування безпосереднього тиску.

Брикетування - процес механічної переробки тонкозернистих і порошкоподібних корисних копалин, їх концентратів і відходів виробництва, який дозволяє одержати механічно і термічно міцний сортовий продукт - брикет, що має певну геометричну форму, розміри й масу. Утилізація тонкозернистих корисних копалин, можливість одержання з них високоякісної продукції для побутового й промислового споживання - головне призначення брикетування.

Брикети використовуються у вугільній, коксохімічній, металургійній, хімічній та іншій галузях промисловості, а також як побутове паливо.

Залежно від властивостей корисних копалин і технологічного призначення брикети повинні бути: атмосферостійкими (не руйнуватися від температурних впливів й атмосферних опадів); механічно міцними; досить пористими, що забезпечують гарна проникність газів при високих температурах горіння й плавки; с мінімальною часткою вологи, наявність якої вимагає додаткових витрати тепла на випар та утрудняє газопроникність брикетів; температуростійкими (не повинні руйнуватися від впливу високих температур горіння й плавки).

Вуглебрикетне виробництво дозволяє:

- одержувати високосортне та транспортабельне паливо поліпшеної якості;
- скорочувати втрати вугілля при зберіганні, перевезеннях і спалюванні;
- запобігати самозайманню вугілля;
- залучати для коксування додаткові ресурси неспікливих марок вугілля;
- використовувати низькоякісні місцеві види палива;

- підвищувати темпи видобутку бурого вугілля з метою їх використання для енергетики й технологічної переробки.

Використання брикетів у металургійному виробництві дозволяє:

- підвищити потужність металургійних печей за рахунок більшої насипної щільності брикетів у порівнянні з шихтою;
- забезпечити більш швидке протікання процесів відновлення;
- знизити витрати електроенергії в електросталеплавильному процесі та загальне споживання тепла;
- підвищити стабільність властивостей виплавленого металу з одночасним збільшенням його вилучення;
- розширити сировинні ресурси металургійного переділу за рахунок використання відносно бідних руд, недефіцитних видів палива та вуглевмісних відходів виробництва;
- поліпшити умови праці обслуговуючого персоналу.

Брикетки залежно від особливостей їх виробництва і використання бувають подушкообразної, прямокутної, циліндричної, конічної форми вагою від декількох грамів до 5-10 кг.

Класифікація корисних копалин за здатністю до брикетування

По здатності до брикетування всі корисні копалини і відходи виробництва діляться на дві основні групи - А і Б (див. рис. 1.1). Група А представлена корисними копалинами і відходами, що брикетуються без зв'язуючих речовин. Група А має чотири підгрупи:

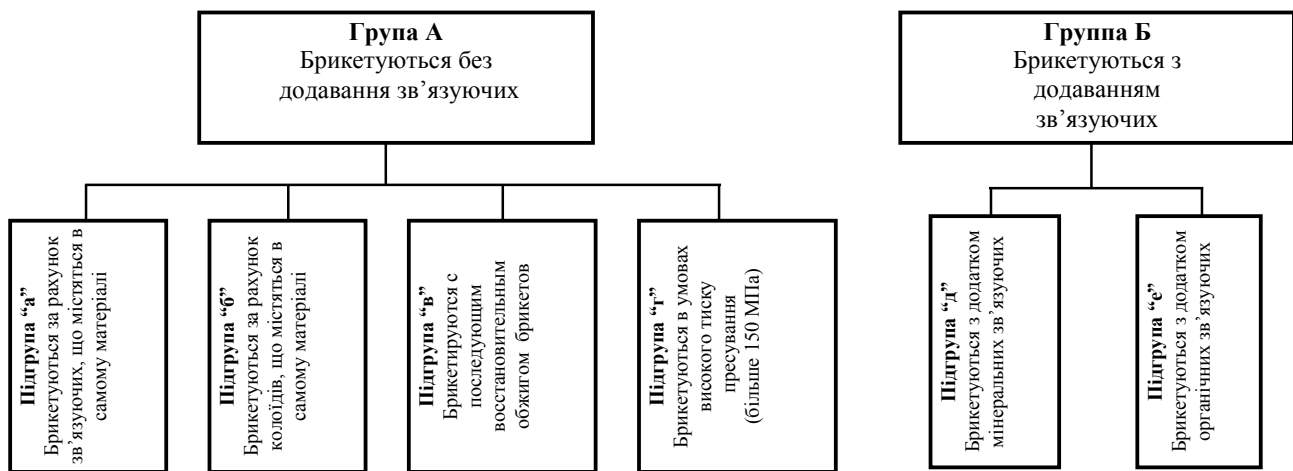


Рис.1.1 Класифікація корисних копалин і відходів виробництва за здатністю до брикетування.

- підгрупа а — це матеріали, що містять у своєму складі компоненти із цементуючими властивостями (глина, сульфідні метали, відновлене залізо та ін.). Сюди також входять дрібні, пилюваті та слабоструктурні матеріали, зокрема, залізні руди, руди кольорових металів, буре вугілля та ін.;

- підгрупа б охоплює матеріали, що мають колоїдні властивості - у більшості випадків пилюваті та слабоструктурні копалини (молоде буре вугілля, торф, хромово-

нікелеві руди та ін.);

- підгрупа *в* - рудні корисні копалини, що вимагають відновлюваного випалу брикетів (магнетитовий дріб'язок, піритні недогарки);

- підгрупа *г* - включає матеріали, що вимагають високого тиску пресування (більше 150 МПа) через відсутність у них цементуючих компонентів (деякі залізні руди, старе буре вугілля).

До групи *Б* відносяться корисні копалини і відходи, що брикетуються із присадкою зв'язуючих речовин (більшість копалин неорганічного походження та відходи виробництва, також кам'яне вугілля всіх марок, антрацити і паливні відходи).

Група *Б* має дві підгрупи:

- підгрупа *д* представлена речовинами, що брикетуються з присадкою зв'язуючих мінерального походження (руди, відходи виробництва);

- підгрупа *е* складається з матеріалів, що брикетуються з присадкою зв'язуючих органічного походження (кам'яне вугілля, антрацити, коксовий дріб'язок і деякі руди).

Брикетування вугілля здійснюється двома способами: з *зв'язуючим* (кам'яне і старе буре вугілля, антрацити, коксовий дріб'язок) і *без зв'язуючої речовини* (молоде буре вугілля).

Зв'язуючі речовини і вимоги до них

Зв'язуючими (клеями, адгезивами) називаються речовини, що здатні з'єднувати роз'єднані тверді частинки та зберігати їх міцний контакт в умовах значних зовнішніх впливів. *Зв'язуючі* можуть бути органічного та неорганічного походження. Зв'язуючі речовини повинні задовольняти наступним вимогам:

- мати високу поверхневу активність, максимально змочувати тверду поверхню матеріалу, забезпечуючи міцний зв'язок;

- бути стійкими до атмосферних опадів, температури, дії сонячних променів, окислюванню та т.п. ;

- не руйнувати структуру субстрату в готовому брикеті;

- мати еластичні та пластичні властивості;

- мати високу міцність, але не бути жорсткіше матеріалу, що склеює. У протилежному випадку зовнішнє навантаження може привести до руйнування з'єднання через нерівномірну концентрацію напруг;

- не допускати виникнення в отверділих зв'язуючих високих внутрішніх напружень, здатних до руйнування клейового з'єднання;

- мати високу швидкість отвердіння;

- не містити летучих з'єднань, токсично діючих на організм людини;

- містити достатню частку спікаючих компонентів, що забезпечують термічну стійкість брикетів при горінні;

- забезпечувати повну теплостійкість брикетів при підвищених літніх і низьких зимових температурах;

- мати високу теплоту згоряння й малий вихід летучих речовин;

- мати низьку температуру запалення;

Брикетування як відособлений технологічний процес грудкування корисних копалин складається з наступних виробничих операцій:

1) підготовка сировини до пресування: дроблення, просівання, здрібнювання та сушіння; препарування зв'язучого; дозування компонентів брикетної шихти, їх змішування, нагрівання та охолодження брикетної шихти перед пресуванням;

2) пресування брикетної шихти з додатком необхідних зусиль, обумовлених залежно від фізико-хімічних властивостей, петрографічного та мінерального состава брикетуємого матеріалу;

3) обробка «сирих» брикетів з метою найшвидшого їх затвердіння (охолодження, пропарювання, карбонізація, сушіння, відновлювальний випал та ін.);

4) складування і навантаження готових брикетів.

По призначенню вугільні брикети бувають побутові і промислові. Основним споживачем побутових брикетів є населення, яке одержує їх у насипному виді або розфасованими в мішки невеликої маси. Для додання побутовим брикетам підвищеної термічної і механічної міцності, а також бездимності їх піддають термообробці. Промислові брикети використовують як сировину для напівкоксування (буре вугілля) і коксування (кам'яне та буре вугілля). Кам'яновугільні брикети можуть виконувати функцію теплоізоляційного матеріалу та основної сировини для одержання різних видів електродів.

Контрольні питання.

1. Сутність та призначення процесів огрудкування.
2. Вимоги до вугільних брикетів.
3. Переваги використання брикетування у вугільній промисловості та металургії.
4. Класифікація корисних копалин та відходів виробництва за здатністю до брикетування.
5. Вимоги до органічних зв'язуючих.
6. З яких операцій складається технологічна схема вуглебрикетного виробництва.

Лекція № 2

ЗВ'ЯЗУЮЧІ РЕЧОВИНИ ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Питання, що виносяться на лекцію:

Агрегатні стани органічних зв'язуючих, параметри, що характеризують склоподібний, високоеластичний (пластичний) та текучий стан зв'язуючого, складові групового хімічного складу органічних зв'язуючих, важливіші фізико-хімічні характеристики найбільш поширених органічних зв'язуючих.

Найпоширенішими зв'язуючими органічного походження є високомолекулярні з'єднання, отримані при хімічній переробці нафти, вугілля, сланців та інших природних полімерів з молекулярною масою тисяча і більше. Залежно від температурних і механічних впливів вони можуть перебувати в трьох агрегатних станах: склоподібному, високоеластичному і текучому.

Склоподібний стан характеризується здатністю зв'язуючих до значних деформацій. Він проявляється в макромолекулах, в яких переважають рухливі ланки. Основні константи склоподібного стану - температура розм'якшення, penetрація та розтяжність

Високоеластичний стан визначає особливу рухливість макромолекул від температурних впливів. У цьому стані зв'язуючі мають здатність до значних зворотних деформацій. Вони характеризуються проявом рухливості окремих ділянок макромолекули при збереженні в цілому її стабільного положення. Високоеластичний стан визначається температурою плавлення.

Текучий (в'язкотекучий) стан характеризується необоротними деформаціями, що приводять до правдивої течії. Зв'язуючі в цьому стані - рідини. Оцінку текучого стану дають по температурі гранично зруйнованої структури та плинності.

Температура розм'якшення — це мінімальний температурний інтервал, при якому зв'язуючі ще залишаються агрегативно твердими, але у фазовому стані з'являється певна аморфність. По цьому параметрі встановлюють режим пресування. Температура розм'якшення визначається стандартними методами «Кільце і шар» або «Кільце і стрижень».

Penetraція — це величина, що характеризує твердість зв'язуючих. Вона визначається при заданій температурі (частіше 25° С) по ступеню проникнення в зв'язуюче стандартної голки. Одиниця penetрації дорівнює 0,1 мм.

Розтяжність — це здатність зв'язуючих витягатися в нитці при певній температурі (частіше 25° С). Одиниця розтяжності - см. Розтяжність побічно характеризує скліючу здатність.

Температура плавлення — це температура каплевиділення у зв'язуючих в стандартних умовах. Вона характеризує максимальний рівень високоеластичного стану.

Температура спалаху — це температура, при якій відбувається спалах газів, що виділяються, та пару у суміші з повітрям при піднесенні полум'я певної довжини. При цьому зв'язуючі не повинні запалюватися і горіти.

Плинність — здатність зв'язуючих текти під дією власної маси при температурі, що перевищує температуру плавлення

Температура гранично зруйнованої структури — це температура, при якій зв'язуючі переходять в істинно текучий стан, тобто стають ньютонівськими ріди-

нами. При цій температурі досягається найбільш ефективно розпилення зв'язуючого та наступне його розтікання по твердій поверхні. Тривале перебування зв'язуючих при такій температурі погіршує їх скліючу здатність.

У хімічному відношенні зв'язуючі являють собою гетероорганічні високомолекулярні з'єднання (ВМС). Вони мають складний состав і структуру, утворені з вуглеводнів та їх неметалічних похідних. Вуглеводневі комплекси (масла, смоли, асфальтени) визначають груповий хімічний склад органічних високомолекулярних зв'язуючих.

Масла - найбільш низькомолекулярні вуглеводневі гібриди. Вони надають зв'язуючим рухливість, плинність і служать джерелом утворення смол. Адгезійна активність у масел незначна. Вуглеводневий состав масел у різних зв'язуючих неоднаковий.

Смоли - вуглеводневі з'єднання, молекулярна маса яких займає проміжне положення між маслами та асфальтенами. Вони мають порівняно високу поверхневу активність. З підвищенням температури до 200 - 300° С переходять в асфальтени. Смоли знижують температуру розм'якшення, підвищують еластичність і сприяють термічній стійкості зв'язуючих.

Асфальтени - вуглеводневі з'єднання, що мають найвищу молекулярну масу. Їх розглядають як дві-три узагальнені молекули смол. Основною властивістю асфальтенів, що надає їм високу адгезійну активність та еластичність, є здатність розчинятися в мальтенах (суміш масел і смол). Асфальтени забезпечують твердість, температурну стійкість, полярність і спікливість.

Крім основних компонентів в органічних зв'язуючих у тій або іншій кількості можуть бути присутніми з'єднання типу *карбонів* і *карбоїдів*, а також *вільні кислоти*. Карбени і карбоїди порушують у зв'язуючих однорідність, але підвищують спікливість. Кислоти сприяють посиленню поверхневої активності адгезивів.

Нафтозв'язуюче – являє собою важкий залишок від переробки смолистих нафт, що має характерні властивості ВМС. Нафтозв'язуюче при температурі навколишнього повітря перебуває у твердому стані. Має кольори від чорного до темно-бурого. Основні фізико-механічні характеристики його наведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1.- Основні фізико-механічні характеристики нафтозв'язуючого і кам'яновугільного пеку.

Параметр	Нафтозв'язуюче	Кам'яновугільний пек
Щільність, кг/м ³	1045-1060	1250-1290
Пенетрація при 25° С, мм	15-20	1-3
Розтяжність при 25° С, див	5-7	0
Когезія при 25° С, Н/м ²	(1,55-1,65)·10 ⁵	(2,2-2,4)·10 ⁵
Температура, °С :		
- розм'якшення	70-75	80-85
- плавлення	102-103	105-108
-гранично-зруйнованої структури	180 - 200	210 - 220
-спалаху	210-220	230-240
В'язкість, Па·с:		
при 100° С	50 - 80	30 - 50
при 200° С	0,5 - 1	0,8 - 1

кослоєвому розтіканню по поверхні субстрату з утворенням міцних адсорбційних зв'язків. Ці процеси активізуються при нагріванні. Однак застосування сульфід-спиртової барди в якості зв'язуючого обмежено. Брикети, виготовлені із цих зв'язуючих, неводостійкі і мають великий вміст сірки. Перша обставина пов'язана з надмірною розчинністю ССБ у воді. Підвищити водостійкість брикетів можна присадкою до брикетної суміші невеликих кількостей каустичного магnezиту Mg, сухогашеного вапна (пушонки) CaOH, гідроксида глинозему Al(OH)₃ або глини. Сірка в ССБ негативно впливає на наступну переробку рудних і вугільних брикетів. Тому, якщо витрати зв'язуючого великі, ССБ необхідно знесірювати шляхом повільної упарки.

Гумати є продуктом добування гумінових кислот з вугілля. Як зв'язуючі добре зарекомендували себе гумати натрію і амонію. Гумати натрію одержують висалюванням гумінових кислот хлористим натрієм. Для цього в лужний розчин гумінових кислот вводять хлористий натрій. В результаті хімічних реакцій гумати натрію випадають в осад (висалюються). Останній відокремлюють фільтруванням.

Гумати амонію являють собою продукт аміачної витяжки окисленого кам'яного або бурого вугілля. Промислова технологія їх одержання заснована на реакції взаємодії водяного розчину аміаку з вугіллям.

Гуминові кислоти по своїй структурі відносяться до колоїдних речовин з великим вмістом функціональних груп. Одна з найбільш значних їх складових - фенольні структури (50-60%). У цих кислотах велика частка вуглецю, зосередженого в основному в ароматичних фрагментах (20-26%), а також бензолполікарбонічних кислот (до 30%). Молекулярна маса гумінових кислот коливається від десятків до сотень тисяч, підтверджуючи їх високомолекулярну основу.

Сланцеві бітуми - це залишковий продукт комплексної переробки смоли, що одержують при газифікації горючих сланців. Сланцева смола, пройшовши вакуумний відгін, утворює різні продукти фракціонування. При температурі вище 325° С утворюються сланцеві мазути та важкий залишок - бітуми. Останні мають властивості, близькі до нафтових бітумів і кам'яновугільних пеків. Ці зв'язуючі відрізняються високою клеєвою здатністю, твердістю (когезія дорівнює $1,9 \cdot 10^5$ Н/м²) і гідрофобністю. Брикети, отримані на сланцевих бітумах, відрізняються підвищеною міцністю, водо- та термостійкістю.

Смола напівкоксування (первинна смола, дьоготь) є основним продуктом термічного розкладання вугілля без доступу повітря при температурах, що не перевищують 550°С. Смола напівкоксування - це темно-бура в'язка рідина. У хімічному відношенні вона являє собою складну суміш органічних високомолекулярних з'єднань.

Смола напівкоксування знайшла застосування як зв'язуюче при брикетуванні коксової шихти. Отримані брикети змішуються з основною масою коксової шихти (приблизно 70-75%) і направляються для коксування. Для виготовлення вугільних і рудних брикетів, що йдуть для спалювання та плавку, смола напівкоксування мало ефективна. У цьому випадку її рекомендується піддати термічній переробці, використавши в якості зв'язуючого важку фракцію.

Фуси напівкоксування - це відходи вуглехімічного виробництва при напівкоксуванні. Вони представлені на 50% смолами важких фракцій і твердих вуглецевих

включень. Утворюються фуси при конденсації парогазових продуктів у попередніх холодильниках напівкоксування вугілля. Фуси відносяться до категорії відходів - продуктів, вихід яких становить близько 1% маси вугілля, що переробляється. По зовнішньому вигляду фуси - густа в'язка смола темно-коричневих кольорів. Їх хімічний склад визначається сумішшю смол та вуглецевих продуктів. Фуси відрізняються низькою температурою розм'якшення. Легко окисляються. Цьому сприяє наявність у них великої кількості напівкоксувального пилу з розвинутою пористою поверхнею.

Для підвищення адгезійної здатності фуси додатково термічно переробляють або окисляють киснем повітря. У цілому кам'яновугільні фуси мають більш низьку зв'язуючу здатність, чим фуси напівкоксування. Їх витрати при брикетуванні становлять близько 15 % (фуси напівкоксування- 11%, кам'яновугільний пек - 7-9%).

Контрольні питання.

1. Якими показниками характеризується склоподібний стан органічного зв'язуючого.
2. Якими показниками характеризується пластичний стан органічного зв'язуючого.
3. Якими показниками характеризується текучий стан органічного зв'язуючого.
4. Складові групового хімічного складу органічних зв'язуючих.
5. Характеристики найбільш поширених органічних зв'язуючих.

Лекція № 3

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БРИКЕТУВАННЯ З ЗВ'ЯЗУЮЧИМ

Питання, що виносяться на лекцію:

Адгезія та її роль в процесі брикетування, поняття роботи адгезії, рівняння Дюпре-Юнга для визначення роботи адгезії, сутність молекулярної теорії адгезії, когезія зв'язуючого та її вплив на міцність брикетів, структура плівок зв'язуючого на твердій поверхні, аутогезія тонких плівок зв'язуючого та її роль в процесі брикетування, механізм утворення брикетів.

Адгезія і її роль в процесі брикетування

Під адгезією розуміють взаємодію, що виникає між приведеними до контакту поверхнями двох різнорідних рідких або твердих тел. На першому етапі адгезійні взаємодії пов'язані з ефективним розтіканням рідкого зв'язуючого по поверхні твердого тіла, тобто зі змочуванням. Добре змочування є обов'язковою умовою формування ефективної клейової плівки зв'язуючого на твердій поверхні.

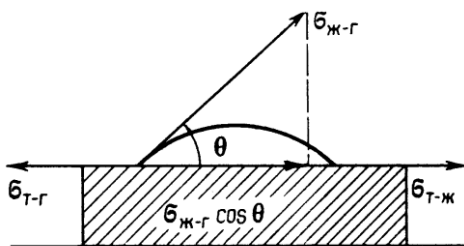


Рис.3.1 – Визначення крайового куту змочування θ .

Мірою змочуваності твердої поверхні зв'язуючим є крайовий кут змочування θ (див. рис. 3.1) - кут, утворений поверхнею розділу двох фаз із поверхнею третьої. Його прийнято відраховувати у бік більш полярної (як правило рідкої) фази. Нульове значення крайового кута відповідає повному змочуванню, значення крайового кута $\theta = 180^\circ$ відповідає випадку повного незмочування твердої поверхні зв'язуючим.

Величина θ визначається з умови рівноваги поверхневих енергій на границі розділу фаз “рідина - повітря” ($\sigma_{жг}$), “тверде тіло - рідина” ($\sigma_{тж}$), “тверде тіло - повітря” ($\sigma_{тг}$), а рівноважне значення - по рівнянню Юнга (див. рис. 3.1):

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{тг} - \sigma_{тж}}{\sigma_{жг}} \quad (3.1)$$

Для роз'єднання двох контактуючих (склеєних) частинок необхідно перебороти опір. Затрачувана при цьому робота називається роботою адгезії, що залежить від природи тіл, що склеюють, стану та форми їх поверхні, умов контакту та інших факторів.

Роботу адгезії зв'язуючого до твердої поверхні можна визначити з рівняння Дюпре-Юнга:

$$W_a = \sigma_{жг} (1 - \cos \theta) \quad (3.2)$$

Відповідно до найбільш сучасної і докладної молекулярної теорії адгезія зв'язуючого до твердої поверхні обумовлена дією в зоні контакту міжмолекуля-

рних ван-дер-ваальсових сил різної природи, а також іонно-електростатичних взаємодій, водневих і хімічних зв'язків. Робота адгезії W_a є сумою наступних складових:

$$W_a = W_a^d + W_a^o + W_a^i + W_a^h + W_a^{ch}, \quad (3.3)$$

де індекси означають, що роботу адгезії визначають: d - дисперсійні взаємодії; o - орієнтаційні диполь-дипольні взаємодії; i - індукційні взаємодії; h – водневі зв'язки; ch – хімічні зв'язки.

Ван-дер-ваальсові дисперсійні взаємодії носять універсальний характер і безумовно проявляються в зоні контакту “адгезив-субстрат”. Вони відповідальні за прояв простої фізичної адсорбції при закріпленні зв'язуючого на твердих частинках.

Орієнтаційні ван-дер-ваальсові взаємодії виникають між полярними (дипольними) структурами учасників адгезійного комплексу. Наявність в молекулі адгезиву (субстрату) постійного диполя приводить до того, що контактуючі з нею молекули другої фази, які можуть не мати постійного диполя, поляризуються, внаслідок чого в них з'являється індукований дипольний момент. При цьому виникає індукційна взаємодія.

Особливо важливе місце в балансі сил, що діють у зоні контакту “адгезив-субстрат”, належить специфічним водневим і хімічним зв'язкам. Наявність на твердій поверхні й у сполучних полярних функціональних груп, ненасичених 3-зв'язків в аліфатичних і ароматичних сполуках є передумовою виникнення зазначених високоенергетичних зв'язків (енергія ван-дер-ваальсових зв'язків становить 0,1-2,4 ккал/моль, водневих зв'язків - 5-6 ккал/моль, хімічних зв'язків - 50-100 ккал/моль). Зокрема, висока електронегативність атомів кисню в карбоксильних і гідроксильних групах сприяє виникненню Н-зв'язків з аналогічними структурами іншого учасника адгезійного контакту. Ненасичені С-С-зв'язки сприяють виникненню в зоні контакту хімічних π -зв'язків, полярні групи і вільні радикали - виникненню ковалентних хімічних зв'язків за донорно-акцепторним механізмом.

Відповідно до молекулярної теорії найбільша міцність адгезії зв'язуючого до твердої поверхні забезпечується при наявності в зоні контакту максимальної кількості складових рівняння (3.4). При цьому вирішальний внесок у роботу адгезії W_a вносять високоенергетичні водневі й хімічні зв'язки.

Когезія зв'язуючого і її роль в процесі брикетування

Міцність клейового з'єднання багато в чому залежить від міцності самого клею, тобто є функцією когезії. *Когезія* характеризує інтенсивність міжмолекулярних взаємодій в об'ємі адгезива і служить критерієм оцінки міцності зв'язуючого.

Когезія міцність зв'язуючого визначається *роботою когезії* W_k – витратами енергії на розрив стовпчика адгезиву перетином 1 см^2 на дві частини. Робота когезії визначається з виразу: $W_k = 2 \cdot \sigma_{\text{кес}}$.

Когезія залежить, головним чином, від структурно-хімічних властивостей адгезиву та зовнішніх навантажень, що приводять до його статичної втоми. Исто-

тний вплив на когезію мають температурно-тимчасові фактори, товщина шару зв'язуючого, а також присутність ПАР, наповнювачів і води.

Підвищення температури різко знижує когезію зв'язуючого. Зростання температури з 20 до 80 °С зменшує когезію нафтозв'язуючого приблизно в 8 разів. Падіння міцності насамперед пов'язане з енергією теплової флуктуації, яка сприяє розриву хімічних зв'язків. Зі зниженням температури когезія росте, тому що підсилюються міжмолекулярні взаємодії всередині адгезиву.

Когезія максимальна в тонких плівках. Стовщення підсилює орієнтаційне розташування ланцюгових молекул зв'язуючого. Для зрушення двох шарів всередині адгезиву необхідно затратити підвищену енергію. У товстих плівках, що мають велику об'ємну фазу, міцнісні властивості внутрішніх і поверхневих шарів практично рівні. Тому для внутрішнього зрушення потрібна менша енергія.

Когезію визначають сили внутрішньо молекулярного зчеплення, форма і довжина молекул, структура адгезиву, а також наявність ПАР. На когезії зв'язуючого згубно позначається проникнення в простір між ланцюговими молекулами води. Заповнюючи порожнечі, вода робить розклинюючу дію. При цьому послабляються сили притягання між молекулами. Надмірна насиченість плівки адгезиву водою може привести до повного її розчинення.

Структура плівки зв'язуючого на твердій поверхні

В структурі плівки зв'язуючого на твердій поверхні можна виділити два шари – граничний і об'ємний. Граничним прийнято називати шар, що перебуває в безпосередньому контакті із твердим матеріалом. В цьому шарі за рахунок взаємодії із субстратом утворюються ланцюги орієнтованих у просторі молекул і макромолекул зв'язуючого (див. рис. 3.2). Упорядкування молекул зв'язуючого за рахунок

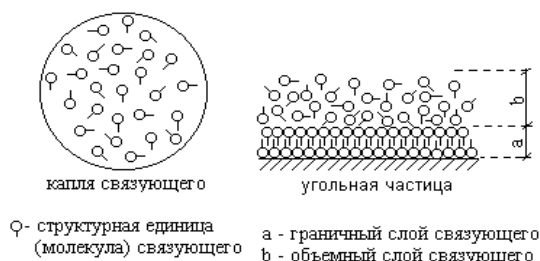


Рис.3.2 Структура зв'язуючого у вихідному стані та на твердій поверхні.

їх просторової орієнтації приводить до структурування граничного шару. При цьому молекули адгезива з'єднуються в єдину просторову сітку, що відрізняється високою механічною (когезійною) міцністю. Високий рівень когезії в граничному шарі обумовлений посиленням міжмолекулярних взаємодій за рахунок різкого зближення молекул адгезиву в орієнтованих шарах. По мірі стовщення клейової плівки і, відповідно, більшої далекості молекул (макромолекул) від твердій поверхні, структурованість зв'язуючого різко зменшується. При цьому граничний шар переходить в об'ємний, властивості якого (адгезія і когезія) не відрізняються від властивостей вихідного зв'язуючого.

Отже, максимальна міцність брикетів може бути досягнута при повному ро-

зподілі зв'язуючого на поверхні брикетуємого матеріалу у вигляді граничних (адсорбційних) шарів.

Аутогезія в процесах склеювання

В такій складній системі, як брикет, процеси структуроутворення не обмежуються утворенням комплексу "адгезив-субстрат". Має місце контактування цих комплексів між собою. Міцність останніх визначається *аутогезією* між плівками адгезиву і когезією зв'язуючого. Аутогезію розглядають як самозлипання двох наведених у контакт поверхонь тієї самої речовини, що перешкоджає їх розділенню по місцю контакту.

Аутогезія являє собою окремий випадок адгезії. Всі встановлені для адгезії закономірності властиві аутогезії. Злипання однорідних тіл не завжди приводить до утворення на границі поділу структури, що аналогічна об'ємній фазі речовини. Найчастіше аутогезійний зв'язок менш міцний, ніж когезійний. У низькомолекулярних зв'язуючих спостерігається рівність аутогезії і когезії.

Необхідною умовою аутогезійних взаємодій є злиття (коалесценція) плівок адгезиву. Коалесценція в початковий період супроводжується прилипанням за рахунок обопільного змочування контактуючих шарів адгезиву. Щоб відокремити один шар від іншого, необхідно затратити роботу, рівну енергії прилипання двох шарів того самого адгезива друг до друга. Ця робота відповідає початковій аутогезії або аутогезії прилипання. Максимального значення аутогезія досягає згодом. В зоні контакту відбувається відновлення структури адгезива, близької до об'ємного. Як правило ступінь коалесценції не дорівнює одиниці. Вона максимальна в низькомолекулярних зв'язуючих. Аутогезія завершується при досягненні адгезивом температури склування. До цього моменту сповільнюються дифузійні і структуроутворюючі процеси. Енергія аутогезійного зв'язку досягає найбільших значень. При температурах нижче температури силювання аутогезійний зв'язок не утворюється.

Найбільший вплив на аутогезію мають такі фактори, як тривалість, температура й тиск контакту, в'язкість і товщина крайового шару, природа адгезиву.

Зі збільшенням тривалості контакту аутогезія росте спочатку швидко, потім повільніше, прагнучи до когезії адгезиву. При підвищенні температури аутогезія росте за експонентним законом. Висока температура інтенсифікує дифузійні процеси. З'являються нові зв'язки. При досягненні адгезивом в'язкотекучого стану аутогезійна міцність вже не залежить від температури. У цих умовах швидко відбувається повна коалесценція. Міцність контакту відповідає когезії зв'язуючого.

Тиск у місці контакту впливає на характер пружних і пластичних деформацій. Повнота контакту підсилює аутогезію. Однак різке збільшення тиску приведе до незначної аутогезії або навіть до її падіння через зниження рухливості молекулярних ланцюгів.

Міцність аутогезійного зв'язку залежить від в'язкості адгезива. Низька в'язкість не забезпечує високої аутогезії. Висока в'язкість стримує дифузійні процеси. В'язкість при злипанні повинна перебувати в межах 10-50 Па·с.

Аутогезія змінюється залежно від товщини плівки. У тонких шарах аутогезія висока. В них молекули орієнтовані друг до друга. Тому злипання відбувається за

рахунок не тільки самодифузії, але і міжмолекулярних взаємодій адсорбційних шарів. У товстих плівках аутогезія невелика, але постійна. Зі збільшенням молекулярної маси адгезиву аутогезія зростає.

Механізм утворення брикетів зі зв'язуючим

Формування структури брикетів здійснюється у вигляді окремих стадій, характерних для будь-якого процесу склеювання. Спочатку рідке зв'язуюче наносить на тверді зерна (перший етап). Потім їх переводять у в'язкотекучий стан (другий етап). З'єднують комплекси шляхом пресування (третього етапу). Нарешті, охолодженням брикетів зв'язуюче переводять у твердий стан (четвертий етап).

В результаті розтікання та адгезійного закріплення зв'язуючого на поверхні твердих частинок утворюється клейова плівка, що складається, як відзначалося, із граничного (адсорбційного) і об'ємного шарів. Подальші процеси структуроутворення обумовлені аутогезією. Для неї характерно прилипання контактуючих плівок зв'язуючого. Залежно від того, по якому з напівшарів іде контактування, досягається та або інша щільність склейки. Перевага об'ємного шару надає структурному каркасу підвищену пластичність, але знижує міцність брикетів. Висока в'язкість адсорбційного шару сприяє зростанню липкості та високій механічній міцності брикету.

Для утворення брикетів необхідно прикласти зусилля, які створюють щільне впакування окремих вугільних зерен. Тиск пресування викликає контактування по адсорбційних шарах клейової плівки та високе внутрішнє тертя всієї системи. У момент зіткнення роз'єднаних часток зв'язок між ними здійснюється винятково за рахунок аутогезійних контактів по об'ємному шару зв'язуючого. Відстань між твердими частинками перевищує суму товщин структурованих оболонок зв'язуючого. Сила зчеплення усередині такої пухкої та грузлої системи мала (рис. 3.3, а).

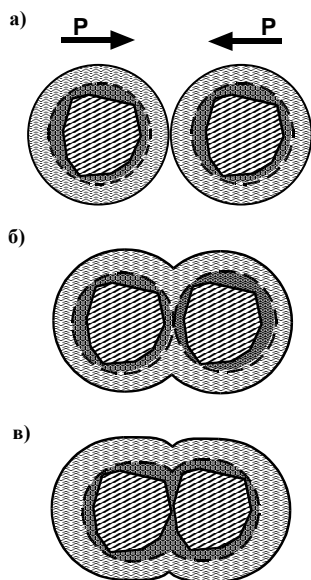


Рис.3.3 Стадії ущільнення брикетної шихти при пресуванні:
а - початкова фаза пресування;
б- контакт по граничних шарах зв'язуючого;
в- завершальна фаза пресування.

З додатком тиску починається процес аутогезійного зміцнення брикетної суміші. Зв'язуюче починає текти і самодифузія здобуває спрямований характер. Зусилля пресування забезпечують початок зближення твердих зерен до зіткнення адсорбційних шарів зв'язуючого (рис. 3.3, б). Об'ємний шар зв'язуючого під дією деформацій-

них напруг порівняно легко починає переходити в місця порожнеч структурного каркаса. Це сприяє додатковому зміцненню брикетів. Подальше наростання тиску приводить до зближення твердих зерен на відстань, менших ніж сума товщин адсорбційних шарів (рис. 3.3, в).

В результаті аутогезія нової структури, що утворилася, наближається до когезії адсорбційних структурованих оболонок. Рівність аутогезії і когезії досягається, коли клейові прошарки близькі до товщини одного граничного шару. До цього часу відбувається граничне заповнення порожнеч об'ємним зв'язуючим, що відіграє роль пружного демпфера.

В процесі пресування важливим фактором, що підвищує загальну міцність брикетів, є інтенсивне внутрішнє тертя зерен корисної копалини. Посилення контактів за рахунок тертя виступаючих граней часток служить джерелом додаткової енергії підвищення щільності впакування зерен у брикеті. Оптимальна міцність готових брикетів досягається в процесі їх охолодження, коли когезія зв'язуючого здобуває максимального значення.

Контрольні питання.

1. Що таке адгезія та її роль в процесі брикетування.
2. Сутність молекулярної теорії адгезії.
3. Когезія зв'язуючого та її вплив на процес брикетування.
4. Структура плівок зв'язуючого на твердій поверхні.
5. Аутогезія та її вплив на міцність брикетів.
6. Механізм утворення брикетів зі зв'язуючою речовиною.

ОСНОВНІ ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА БРИКЕТУВАННЯ ВУГІЛЯ ЗІ ЗВ'ЯЗУЮЧИМ

Питання, що виносяться на лекцію:

Вплив на процес брикетування фізико-хімічних характеристик субстрату, властивостей зв'язуючого, тиску пресування, охолодження брикетів.

Фізико-хімічні властивості субстрату

Гранулометричний склад. Значення гранулометричного складу визначається впливом сумарної поверхні зіткнення зерен, числом і величиною порожнеч у структурному каркасі брикетів, вмістом гострокутних зерен, рельєфом твердої поверхні та наявністю пилоподібних частинок.

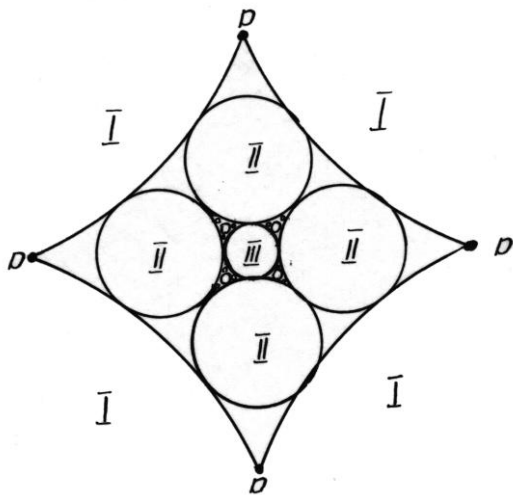


Рис.4.1 Схема структури з найбільш щільною упаковкою зерен діаметром I, II, III і т.д. у суміші

Теоретичний принцип підбору суміші частинок різної крупності полягає в створенні структурної композиції, що відповідає найбільш щільному впакуванню (рис. 4.1). У такій структурі масове і об'ємне співвідношення зерен досить повно може характеризуватися емпіричним рівнянням:

$$P = 100 \cdot \sqrt{d/D}$$

де P - частка зерен (% по масі), що проходять через сито з діаметром отворів d ; d - діаметр будь-якого зерна суміші від 0 до D ; D - максимальний діаметр зерна в суміші. Максимальна щільність суміші досягається при співвідношенні $d/D = 1/20$.

Щільність упакування тісно пов'язана з розміром зерен. Дрібні зерна більш ребристі, чим великі і теплота їх змочування приблизно в 4 рази вище, ніж в останніх. Великий вміст крупних зерен (більше 6 мм) негативно позначається на міцності брикетів. При пресуванні такі частинки легко розтріскуються. З'являються нові поверхні, непокриті зв'язуючим. Наявність пилоподібних частинок приводить до підвищення питомої поверхні, а, отже, і зростання витрат зв'язуючого, що сприяє ущільненню брикетів у результаті активного заповнення порожнеч.

На щільність упакування брикетів істотно впливає пористість структури. Як би ретельно не були впаковані тверді зерна в брикети, між ними завжди є пори. Число і величина порожнеч впливають на міцність брикетів. У брикетів з тонкозернистих частинок пори дрібні і вони в основному заповнені зв'язуючим. Дефектів у вигляді порожнеч мало, міцність брикетів велика. Брикети з перевагою крупних зерен мають велику кількість дефектів. Об'ємного шару зв'язуючого для заповнення в них порожнеч не вистачає. Тому ці брикети мають

низьку міцність. Для підвищення міцності впакування рекомендується вводити в брикетну суміш пилоподібні частинки, що легко проникають у порожнечі.

Нерівності і шорсткість матеріалу позитивно впливають на механічне закріплення на ньому зв'язуючого, підвищуючи міцність брикетів.

Міцність брикетів тим нижче, чим більше однорідність ситового складу. Однорідна суміш не дозволяє забезпечити належну щільність упакування. Зерна укладаються зі значним числом порожнеч у каркасі. Тиск пресування нерівномірно розподіляється в об'ємі системи. Брикети легко деформуються.

Температура субстрату. Температурні впливи сприятливо позначаються на адсорбційній активності поверхні твердих частинок. Підсилюється коливальний процес поверхневих молекул, що приводить до відщиплення деякої їх частини. Утворюються реакційно-здатні вільні радикали, що активно взаємодіють між собою та зв'язуючим. У результаті нагрівання досягається тонко шарове розтікання зв'язуючого по твердій поверхні і підсилюються зв'язки в їх адсорбційних шарах. Недостатнє нагрівання частинок корисної копалини приводить до того, що змочування зв'язуючим твердої поверхні майже не відбувається. Адгезійні зв'язки в цьому випадку утворюються лише за рахунок незначних крапкових контактів крапель зв'язуючого.

Вологість і природа субстрату. Волога, що перебуває на поверхні мінеральних зерен, створює гідратну плівку, товщина якої визначає міцність зв'язку субстрату зі зв'язуючим. Надлишок вологи не дозволяє зв'язуючому міцно прилипнути до субстрату. Змочувальна здатність зменшується. Адгезія падає. Механічна міцність брикетів знижується. Волога, що перебуває на поверхні, при зіткненні з гарячим зв'язуючим інтенсивно випаровується. Це викликає охолодження зв'язуючого та погіршення змочування. Так, наприклад, збільшення вмісту вологи в брикетній суміші з 2,5 до 7,5% знижує ступінь покриття зерен вугілля нафтозв'язуючим (відносну адгезію) з 75 до 34%.

Для зменшення негативного впливу поверхневої вологи звичайно застосовують термічне сушіння. Іноді використовують хімічну модифікацію поверхні частинок дією поверхнево-активних (ПАР) добавок. ПАР хімічно взаємодіють із твердою поверхнею. На ній утворюються нерозчинні з'єднання, що сприяють міцному зчепленню субстрату зі зв'язуючим. Наявність поверхнево-активних угруповань та активних "центрів" на твердій поверхні підсилює адгезійні взаємодії. Пориста структура субстрату обумовлює протікання дифузійних процесів, доповнюючи тим самим загальну адгезію між субстратом та адгезивом.

Властивості зв'язуючого

Природа зв'язуючого. Провідна роль у формуванні структури брикетів належить зв'язуючому. Основними технологічними властивостями зв'язуючих слід вважати клейову здатність і когезію.

Клейова здатність зв'язуючих насамперед залежить від їх поверхневої активності. Наявність активних функціональних груп - надійне джерело виникнення міцних адгезійних зв'язків. Особливо ефективна їх роль, коли їх частка в зв'язуючому досягає 2-3%. Такі угруповання індивідуальних ПАВ сприяють активному змочуванню та адсорбції зв'язуючих. Тип хімічних компонентів і наявність індивідуаль-

них ПАР впливають на інтенсивність внутрішньомолекулярних зв'язків, що визначають когезію зв'язуючих.

Температура зв'язуючих. Температура зв'язуючих також впливає на процес структуроутворення. Насамперед вона позначається на дисперсності, змочуваності, пластичності суміші та механічній міцності брикетів.

Тонкошарове розтікання зв'язуючих тісно пов'язане з їх дисперсністю, що обумовлює якісне покриття зв'язуючим поверхні твердих зерен. Розпилення зв'язуючого залежить від його температури. Остання визначає в'язкість, що впливає на час розпаду та розмір крапель, що утворюються. Підвищення в'язкості веде до утворення великих крапель.

Розмір крапель має важливе значення. Великі краплі хоча і створюють більш товсті клейові плівки, але мають у момент контакту більшу температуру. Вони краще розтікаються по твердій поверхні. Дуже дрібні краплі швидко охолоджуються та погано розтікаються по поверхні.

Найкращий ефект розпилення досягається тоді, коли в'язкість відповідає в'язкості ньютонівської рідини. Цьому стану відповідає температура гранично зруйнованої структури. Зв'язуюче в такому стані під дією аеродинамічних зусиль, створених у соплі форсунки-розпилювача, розпадається на дрібні краплі.

Температура зв'язуючих сприяє поліпшенню пластичності брикетної суміші в процесі пресування. Чим вона пластичніше, тим рівномірніше розподіляється тиск у повному обсязі, ефективніше відбувається заповнення порожнеч структурного каркаса брикетів об'ємним шаром зв'язуючого.

Температура зв'язуючих впливає на охолодження готових брикетів. Максимальна механічна міцність брикетів досягається при температурі, коли зв'язуючі перебувають у склоподібному стані.

Вологість зв'язуючих. Волога в зв'язуючому негативно впливає на структуроутворення. Нагріте зв'язуюче енергійно поглинає воду, особливо якщо в ньому втримується хоча б незначна кількість водорозчинних речовин. Вода розчиняє солі і утворює всередині сферичні крапельки. Обводнене зв'язуюче здатно прилипати до твердих зерен. При цьому первинні контакти можуть бути дуже міцними, тому що поверхня плівки звичайно безводна. Поступово вода дифундує із глибини шарів до границі розподілу фаз. Досягнувши твердої поверхні, вона витісняє плівку зв'язуючого. Склеєна система руйнується.

Товщина плівки зв'язуючого. Дуже важливу роль у забезпеченні ефективного структуроутворення брикетів грає товщина клейової плівки. Зменшення товщини плівки зв'язуючих збільшує когезію і адгезію. У тонких клейових плівках досягається максимальний орієнтаційний ефект, мінімальні післяусадочні тангенціальні напруги, мало дефектів і тріщин. Товщина плівки залежить від хімічної природи зв'язуючих, характеру розпилення, температури і інтенсивності перемішування з корисними копалинами. Наявність у зв'язуючих індивідуальних ПАР створює хороші умови для тонко шарового розтікання по твердій поверхні.

Збільшення питомої поверхні зерен та їх числа сприяє тоншанню клейової плівки. Цьому також сприяє мілкодисперсний склад зв'язуючого.

Товщина клейової плівки багато в чому залежить від в'язкості зв'язуючих в момент контакту із брикетуємим матеріалом. Максимальний ефект досягається,

коли вона близька до в'язкості ньютонівської рідини. Перемішування створює посилене тертя між клейовими плівками і твердими зернами, підвищуючи плинність зв'язуючих. Сполученням енергійного тертя та високих температур при змішанні можна забезпечити додаткове тоншення плівки. Товщина плівки залежить також від витрат зв'язуючого.

Тиск пресування

У процесах структуроутворення брикетів велика роль тиску пресування. З додатком тиску пресування пухка брикетна суміш перетворюється в міцний грудковий продукт - брикет. Деформуємість брикетної суміші під час пресування є функцією пластичності.

Під *пластичністю* розуміють здатність брикетної суміші змінювати свою форму під впливом зовнішніх сил без утворення тріщин і зберігати отриману форму після припинення дії цих сил. Зі збільшенням температури суміші пластичність зростає. Забезпечується висока брикетна здатність суміші при пресуванні.

Оцінюючи процес ущільнення брикетної суміші аналогічно струшуванню, його можна представити в такий спосіб. Спочатку відбувається швидка усадка. Потім вона сповільнюється і в міру ущільнення суміші наближається до граничної величини. Першими ущільнюються верхні шари, що перебувають ближче до місця тиску. Далі починають ущільнюватися наступні шари. Тиск пресування поширюється хвилеподібно, зменшуючись у глибину брикету. Ущільнення припиняється внаслідок погашення тиску від місця порушення. Це відбувається винятково через посилення тертя між частинками в результаті наростання зусиль.

Фізична сутність процесу пресування полягає в пластичній деформації матеріалу, що піддається обробці. Деформація в загальному випадку полягає в зсуві однієї частки матеріалу щодо іншої. Пластична деформація протікає, коли деформуюче зусилля змушує матеріал текти, подібно рідини. Для розрахунку пластичної деформації найбільше прийнятно наступне рівняння:

$$\frac{F}{S} - N = \eta \cdot \frac{dv}{dh}$$

де F - деформуюча сила, Н; S - поверхня зрушення, на яку вона діє, м²; N - гранична напруга зрушення, Па; η - в'язкість, Па·с; dv/dh - градієнт швидкості руху частинок.

Якщо швидкість росту напруги велика в порівнянні зі швидкістю залишкової деформації, то деформація відстає від напруги. Це пов'язане з тим, що між напругою і внутрішнім тертям не встигає встановитися рівновага. У брикетній масі деформація помітно відстає від напруги. З'являються пружні сили, які компенсують різницю між напругою й тертям. Ці сили, названі внутрішнім напруженням, після зняття зовнішніх зусиль викликають пружний наслідок або релаксацію.

Після зняття тиску відбувається нерівномірне розширення брикету. Різномірні матеріали - субстрат і зв'язуюче - по різному сприймають пружні деформації та неоднаково відновлюються. Виниклі розтяжні зусилля протилежні за знаком зусиллям, що здавлюють. Тому брикет перетерплює деяке розширення.

Розтяжні зусилля діють поступово, проявляючись у міру виходу брикету із преса. Спочатку вони спрямовуються тільки в одному напрямку, вирівнюючись у процесі видавлювання брикету з матриці. Такий розподіл зусиль негативно впливає на міцність. Особливо, коли пресування іде при високих тисках. Негативна дія пружних деформацій приводить до виникнення в клейових плівках додаткових внутрішніх напружень, що послабляють міцність брикетів.

4.4 Охолодження брикетів

Структурна міцність брикетів остаточно здобувається в процесі охолодження. Вихідний із преса брикет має температуру, близьку до температури розм'якшення зв'язуючого. Зниження температури досягається перебуванням брикетів в атмосфері подаваного примусово або природно повітря. В цей період зв'язуючі відновлюють свою структуру до значень максимальної когезії. Інтенсивність охолодження брикетів пропорційна відношенню об'єму до поверхні охолоджуваних брикетів. Чим вище це відношення, тим повільніше відбувається охолодження. Розміри брикетів та їх число, що доводиться на одиницю площі охолоджувального пристрою, визначають кінцевий результат охолодження.

На охолодження впливають вологість і витрати зв'язуючого. При високій вологості в процесі охолодження відбувається інтенсивний випар. Виникаючі в брикетах тріщини викликають падіння їх міцності. Залежно від місця зосередження вологи тріщини можуть бути поверхневі або внутрішні. Останні дуже згубно позначаються на міцності брикетів.

Швидкість охолодження перебуває в прямої залежності від витрат зв'язуючого. Якщо зв'язуючого в брикеті мало, то охолодження іде швидко. Температура падає майже з однаковою швидкістю в усьому об'ємі брикету. Якщо ж вміст зв'язуючого високий, то температура знижується повільно і нерівномірно. Поверхневі шари брикету охолоджуються порівняно швидко, а внутрішні - тривалий час.

Контрольні питання.

1. Вплив на процес брикетування гранулометричного складу субстрату.
2. Вплив на процес брикетування температури, вологості та природи субстрату.
3. Вплив на процес брикетування властивостей зв'язуючого.
4. Вплив на процес брикетування тиску пресування та охолодження брикетів.

Лекція № 5

ТЕХНОЛОГІЯ БРИКЕТУВАННЯ ВУГІЛЛЯ ЗІ ЗВ'ЯЗУЮЧИМ

Питання, що виносяться на лекцію:

Технологічна схема брикетування вугілля зі зв'язуючим, вимоги до брикетів, підготовка вугілля до пресування, підготовка зв'язуючих, приготування брикетної суміші, операція пресування, охолодження, складування та відвантаження брикетів споживачеві.

Технологічна схема брикетування вугілля

Брикетування як відособлений технологічний процес огрудкування корисних копалин складається з наступних виробничих операцій (див. рис.5.1):

1) підготовка сировини до пресування: дроблення, просівання, здрібнювання і сушіння; препарування зв'язуючих речовин; дозування компонентів брикетної шихти, їх змішування, нагрівання та охолодження брикетної шихти перед пресуванням;

2) пресування брикетної шихти з додаванням необхідних зусиль, обумовлених фізико-хімічними властивостями, петрографічним та мінеральним складом брикетуємого матеріалу;

3) обробка "сирих" брикетів з метою найшвидшого їх затвердіння (охолодження, пропарювання, карбонізація, сушіння, відновлювальний випал та ін.);

4) складування і відвантаження готових брикетів.

Організація технології брикетування кам'яного вугілля і антрацитів залежить від вимог споживачів до брикетів. Найбільш доцільно для брикетування використовувати збагачений вугільний дріб'язок та антрацитовий штиб.

Якісні кам'яновугільні (антрацитові) брикети повинні відповідати наступним технологічним показникам: маса 75-85 г; механічна міцність на скидання - не нижче 85%, вміст дріб'язку (кусків менше 25 мм) - не більше 10%, вологовбирання - не вище 4%, вихід летучих речовин - не більше 10%, теплота згорання - 34000 -35000 кдж/кг. Зольність брикетів встановлюється залежно від якості сировини та умов її переробки.

Підготовка вугілля

Крупність вугілля визначає ущільненість брикетів. Правильний вибір гранулометричного складу сприяє високій міцності брикетів при мінімальних витратах зв'язуючого. Оптимальний ситовий склад для вугілля крупністю 0-6 мм повинен відповідати наступному співвідношенню класів: більше 6 мм 2-3 %, 3-6 мм 28-30 %, 1-3 мм 30-32 % та 0-1 мм 38-42 %. Для вугілля крупністю 0-3 мм вміст класу більше 3 мм повинен становити 5-10 %, 1-3 мм 45-50 % та 0-1 мм 40-45 %.

Великий вміст вугільних зерен крупніше 6 мм викликає утворення великих пор в структурі брикету і приводить до збільшення витрат зв'язуючого. Крім того, такі частки під впливом високих тисків пресування піддаються порівняно легкому розтріскуванню з утворенням поверхонь, непокритих зв'язуючим.

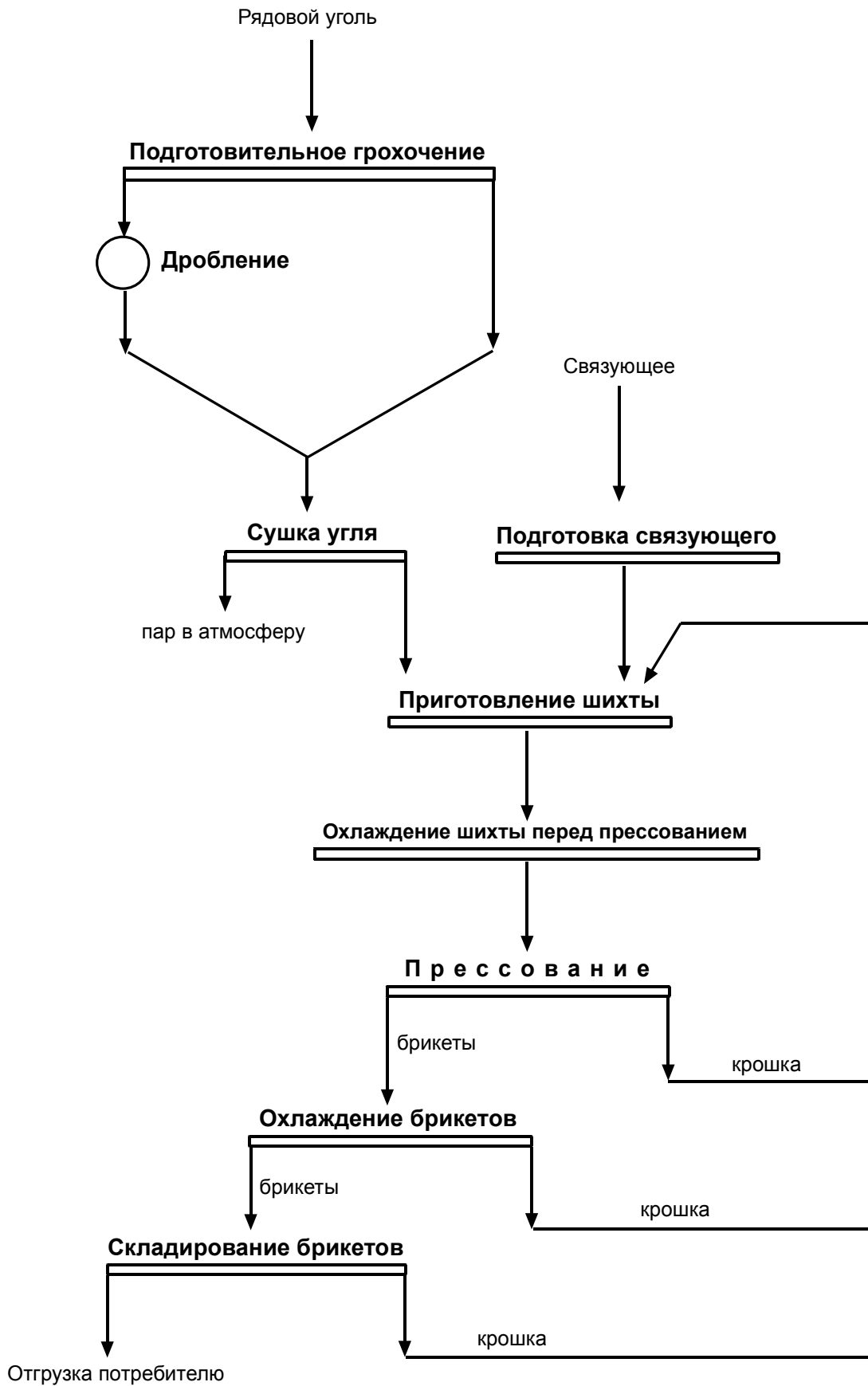


Рис. 5.1 Принципова технологічна схема брикетування вугілля зі зв'язуючим.

Для підготовки вугілля його класифікують на грохотах з наступним дробленням надріштного продукту. Для класифікації використовують вібраційні і резонансні грохоти. У випадку поділу вологого вугілля по крупності 3 мм грохоти обладнають ситами з електрообігріванням. При розсортовуванні такий матеріал варто змішувати із сухим вугіллям. Можливе його попереднє підсушування, або додавання в дробарку гарячих газів. Для дроблення вугілля використовують як правило, швидкохідні молоткові дробарки.

Зневоднювання та нагрівання вугілля є обов'язковим технологічним етапом його підготовки. Він здійснюється за допомогою термічного сушіння. Сушіння дозволяє видалити з поверхні вологого вугілля гідратну плівку та нагріти вугілля, і тим самим поліпшити його змочуємість зв'язуючим, забезпечити міцний внутрішній зв'язок вугільних частинок у брикеті. Оптимальний вміст вологи після сушіння складає 2-3 %. Залишкова волога, концентруючись у порах і тріщинах вугілля, дозволяє запобігти дифузійному проникненню в них низьков'язкого зв'язуючого. Вона не має шкідливого впливу на процес зчеплення вугілля та зв'язуючого.

В результаті сушіння вугілля одночасно нагрівається до 60-80°C. Нагрівання сприяє тонкошаровому розподілу зв'язуючого на вугільній поверхні.

Сушіння вугілля здійснюється в трубах-сушарках, барабанних сушарках або сушарках "киплячого шару". Як показала практика, для брикетування кам'яного вугілля і антрацитів найбільш ефективною є труба-сушарка. Вона відрізняється високою продуктивністю по випаруваній волозі, інтенсивністю сушіння та швидким нагріванням вугілля. Одночасно труба-сушарка може забезпечувати пневмотранспорт сухого матеріалу до місця змішання його з зв'язуючим. Це зберігає високу температуру вугілля, виключає можливість проникнення у виробничі приміщення пилу. У трубі-сушарці здійснюється контрольна сепарація по верхній межі крупності, що виключає присутність у сушонці надлишкових зерен. В процесі сушіння вугілля нагрівається до 60-80°C, а вміст вологи в ньому знижується до 1-1,5 %.

Підготовка зв'язуючих

Для брикетування кам'яного вугілля і антрацитів застосовують органічні зв'язуючі в рідкому та твердому стані. Найбільше поширення одержало нафтозв'язуюче, яке використовується в рідкому виді. Рідше використовується тверде зв'язуюче - кам'яновугільний пек. Рідка сульфід-спиртова барда, тверді глини і цемент використовуються порівняно мало, в основному як модифікуючі добавки. Зв'язуюче в рідкому виді має ряд переваг у порівнянні із твердим адгезивом. Воно легко диспергується, утворюючи тонкоплівкове покриття на вугільній поверхні. При цьому знижуються витрати зв'язуючого та поліпшується підготовка брикетної суміші.

Для підготовки рідких зв'язуючих, зокрема нафтозв'язуючих, можливі два технологічних варіанти. У першому випадку використовується схема підготовки зв'язуючого, виготовленого на нафтопереробному заводі. У другому - схема, що включає підготовку нафтозв'язуючого безпосередньо на брикетній фабриці.

На діючих брикетних фабриках більш поширена схема першого варіанту. За цією схемою на брикетну фабрику з нафтопереробних заводів прибуває кондиційне зв'язуюче в залізничних піввагонах або цистернах. Піввагони являють собою чоти-

ривісні залізничні платформи, на яких установлені чотири самоперекидних бункери місткістю 10 т кожний. Для зливу нафтозв'язуючого вони обладнані паровою сорочкою (подвійними стінками).

Нафтозв'язуюче (див. рис. 5.2) вивантажується із залізничних ємностей 6 у спеціальні сховища. Місткість резервуарів становить не менш 15-20 добового запасу зв'язуючого. Сховища виконуються у вигляді окремих відсіків 5. Кожен відсік являє собою залізобетонну ємність (іноді металеву) місткістю 500-1000 м³ із шиферним навісом, що запобігає дії атмосферних опадів.

У відсіку встановлений донний обігрів з паровими трубчастими зміювиками, що забезпечують нагрівання зв'язуючого до 100-110°C. Додатково відсік обладнується барботажною паровою системою яка змучує опади, що накопичуються на дні. У торці відсіку є невеликий прийомний збірник 4 з пов'язаними з ним шестер-

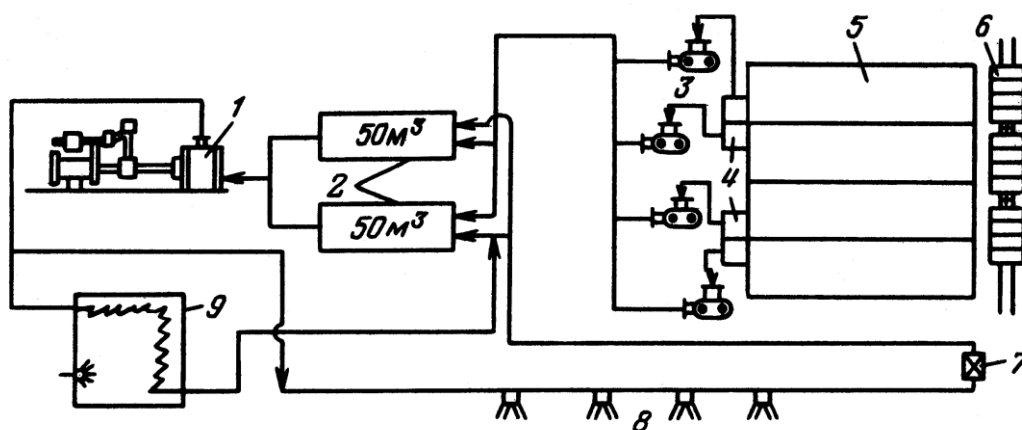


Рис.5.2 Схема підготовки рідких зв'язуючих.

ними насосами 3. Розігріте зв'язуюче, що надійшло в прийомний збірник, насосом подається у видаткову ємність 2, а з неї паровим високотисковим насосом 1 у трубчасту піч 9, де зв'язуюче нагрівається до температури 220-230°C. Із трубчастої печі зв'язуюче повертається у видаткову ємність, де змішується з «холодним» зв'язуючим, що надходить зі сховища. Такий технологічний прийом дозволяє заощаджувати тепло трубчастих печей, швидко збезводнювати «холодне» зв'язуюче та знижувати його температуру до оптимальних робочих значень (180-200° С).

Зв'язуюче, що має робочу температуру 180-200° С, з видаткової ємності високотисковим паровим насосом подається по кільцевому трубопроводу до форсунок-дозаторів 8 для змішування з вугіллям. Надлишок зв'язуючого повертається знову у видаткову ємність. Для створення необхідного підпору зв'язуючого перед форсунками на вихідній ділянці кільцевого трубопроводу встановлюється регулювальна засувка 7.

Другий варіант схеми підготовки рідких зв'язуючих - виготовлення їх безпосередньо на брикетних фабриках. Він має ряд переваг. Спрощується технологія зливу і розігріву вихідної сировини. Поліпшується якість зв'язуючого за рахунок скорочення його багаторазових нагрівів і перекачувань. Здешевлюється вартість зв'язуючих.

Найбільш простим і дешевим є *безкомпресорний метод*. Цей метод заснований на ефекті всмоктування повітря шляхом диспергування його відцентровим імпелером в середовищі сировини, що окислюється. Технологічна схема прийому сировини аналогічна схемі прийому готового зв'язуючого, описаної вище. Підготовлена до окислювання сировина надходить у реактор. Реактор (рис. 5.3) являє собою горизонтальний п'ятисекційний апарат. Він обладнаний імпелерами для диспергування повітря в рідкій фазі. П'ять робочих секцій по своїх розмірах і технологічному виконанню ідентичні. Остання секція є буферною ємністю перед качкою готового зв'язуючого. Секції відділені друг від друга гідравлічними рами. У кожній робочій секції встановлюється диспергатор з електроприводом 3. Частота обертання диспергатора 750 хв^{-1} . В зону окислювання повітря надходить безпосередньо через диспергатор з використанням ежектора 2. Подача сировини

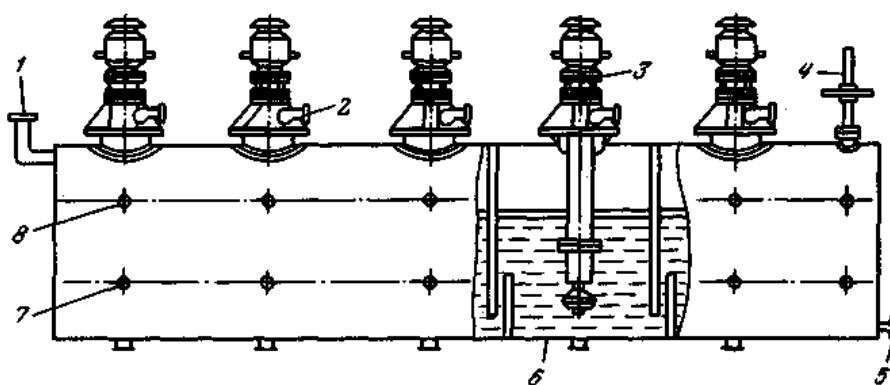


Рис.5.3 Реактор безкомпресорного методу отримання нафтозв'язуючих.

здійснюється через патрубок 1, видача - через патрубок 5. Для зняття го тепла екзотермічної реакції в кожен секцію подається вода. Рівень рідини в котрі регулюється за допомогою шибера 4 в останній секції. У реакторі ні спеціальні пристрої для термометрів 7 і відбору проб 8.

Процес окислювання відбувається в такий спосіб. Диспергатор, обертаючись, засмоктує повітря у фазу гарячої сировини. Створюються умови тісного контакту з рідким середовищем, що прискорює процес окислювання за рахунок максимального використання кисню повітря. В процесі окислювання відбувається швидкий підйом температури в секціях до $300-320^{\circ} \text{C}$. Для підтримки постійної температури в реактор подається вода. Пари води і газу відокремлюються в сепараторі від конденсату нафтопродуктів (віддува), що повертається для доокислення в п'яту секцію реактора. Відпрацьовані гази спалюються. Рівень регулюється шибером, встановленим після останньої робочої секції.

Приготування брикетної суміші

Підготовка брикетної суміші - складний і відповідальний етап у технологічному комплексі брикетування вугілля. Брикетні суміші звичайно підготовляють у спеціальних змішувальних апаратах, які дозволяють рівномірно розподіляти зв'язуюче в об'ємі вугільної маси.

Найпоширеніший апарат - вертикальний паровий змішувач (малаксер). Він придатний для підготовки брикетної суміші з рідкими та твердими зв'язуючими. Для кращого ефекту усереднення перед малаксером встановлюється двухвальний гвинтовий змішувач. В ньому здійснюється змішання компонентів у зваженому стані, що особливо доцільно у випадку застосування рідких зв'язуючих. В малаксері матеріал проштовхується повільно обертовими лопатками в горизонтальному і вертикальному напрямках. В результаті зв'язуюче розподіляється в об'ємі всієї суміші за рахунок тертя між зернами і механічного вдавнення від впливу обертових лопаток.

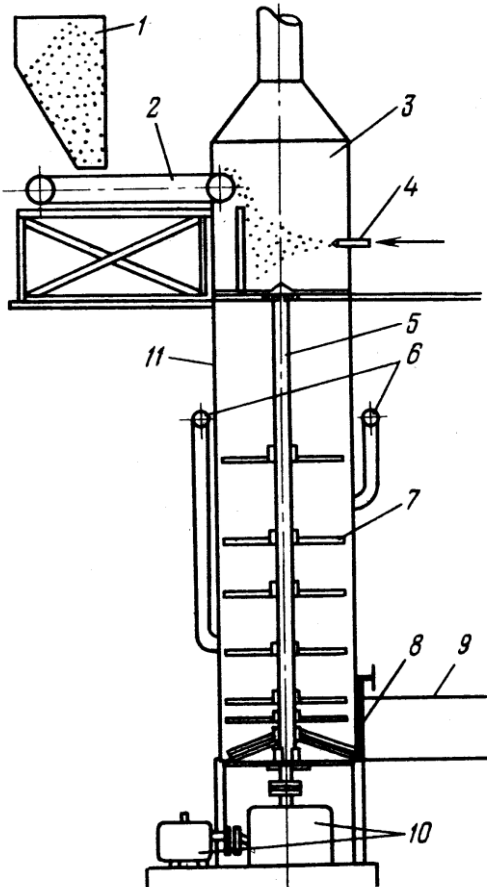


Рис.5.4 Схема малаксера

Для поліпшення усереднення і тонкоплівкового розподілу зв'язуюче в простір між лопатками по висоті і окружності малаксера подається перегріта пара з температурою до 300° С. Підготовка брикетної суміші в малаксері триває близько 10 хв. За цей час суміш не тільки додатково нагрівається, але і зволожується на 1-2%.

Технологічний вузол підготовки брикетної суміші в малаксері показаний на рис. 5.4. Вугілля після сушіння з бункера 1 живильником -дозатором 2 тонким шаром подається в камеру змішування 3. В неї за допомогою форсунок-розпилювачів 4 подається дозоване зв'язуюче. Каскадне тонкослоєве надходження вугілля в камеру змішування дозволяє максимально напилити зв'язуюче на вугільну поверхню. Потім суміш надходить у малаксер 11, обладнаний сімома рядами серповидних лопаток 7, закріплених на вертикальному валу 5. Вал малаксера приводиться в обертання від приводу 10. По висоті малаксера в простір між лопатками по трубах 6 подається перегріта пара.

Внизу малаксера встановлений регулювальний затвор 8. Він забезпечує рівномірну видачу брикетної суміші на гвинтовий конвеєр 9 для її охолодження перед пресуванням. Гвинтовий конвеєр являє собою одно- дворядну спіраль довжиною 5-6 м. Він обладнується потужною витяжною вентиляцією, що дозволяє остудити брикетну суміш до температури на 5-10°С нижче температури розм'якшення зв'язуючого.

Пресування

Для ущільнення брикетної суміші застосовують вальцьові преси, що розвивають тиск пресування 20-50 МПа. Вальцьовий прес являє собою апарат, що складається з живильника-завантажника (розподільна чаша), валків з бандажними кільцями і станини з розміщеною на ній системою гідравлічного стиску валків.

Розподільна чаша (рис. 5.5) служить для рівномірного завантаження валків преса брикетною сумішшю. Вона являє собою циліндр 1 з листової сталі місткістю

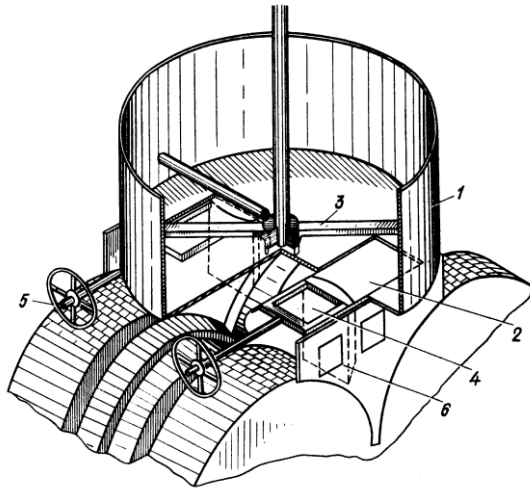


Рис.5.5 Росподільча чаша вальцового пресу

0,5-1 м³. У днищі чаші над кожною парою валків є отвори 4. Через них брикетна суміш надходить у камеру завантаження перед пресуванням. Всередині чаші із частотою 26-30 хв⁻¹ обертається чотирилопастна мішалка 3, що розподіляє брикетну суміш по отворах 4. Ступінь відкриття завантажувальних отворів у чаші регулюється засувкою з ущільнюючою дошкою 2. Вона переміщається в напрямних за допомогою металевих тяг, кінці яких проходять через передню стінку вальцового преса. Просування тяг здійснюється обертанням регулювальних маховичков 5. Для регулювання подачі брикетної суміші по ширині валків, що пресують, під чашею в камері завантаження встановлені планки-відбивачі 6. Їх переміщення здійснюється за допомогою гвинтів.

ється за допомогою гвинтів.

Для брикетування руд (рідше вугілля) брикетну суміш подають на валки за допомогою живильників-ущільнювачів різних конструкцій. *Вертикальний шнековий підпресовиць* при обертанні ущільнює й проштовхує брикетну суміш до місця завантаження валків.

Хороші результати наступного пресування досягаються у випадку застосування *валкових ущільнювачів* (рис. 5.6). Готова брикетна суміш із завантажувального бункера 4 надходить у простір двох обертовий друг проти друга гладких валків 3. Матеріал акумулюється в бункері 2, з якого він вивантажується під дією сил ваги і тертя обертових валків 1.

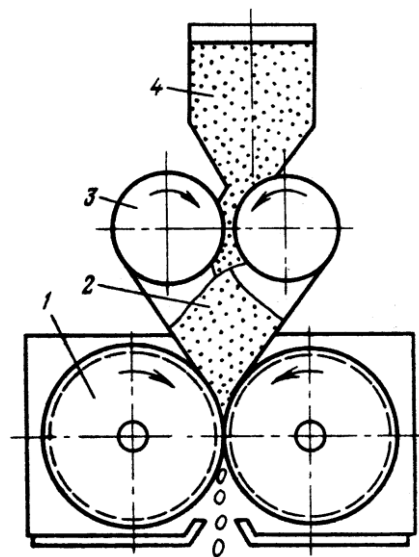


Рис.5.6 Валковий ущільнювач вальцового пресу

Вальцовий прес (рис. 5.7) являє собою зварену станину 10, виконану з товстолистової сталі. У її бічних стінках розташовані чотири корпуси підшипників 5, на яких знаходяться валки 3. Валок складається з вала 6, двох пустотілих валів-барabanів 7, посаджених на вал 6 і шестірні. На пустотілі вали-барабани 7 одягаються бандажні кільця з виготовленими в них осередками. Форма осередку відповідає формі напівбрикету.

Бандажні кільця виготовляються у вигляді цільного пакета або окремих сегментів з високоякісних сталей з термічною обробкою після фрезерування осередків. Валки 3 одержують обертання від привода 9. Обертаючись, вони захоплюють із завантажувальної камери 4 брикетну суміш. У просторі між осередками бандажних кілець брикетна суміш спресовується. Коли осередки розходяться, з них випадає

брикет. Для підтримки необхідного тиску пресування вали 6 стискаються за допомогою окремої гідравлічної системи 2. Контроль тиску пресування ведеться по манометру 1. Для регулювання ступеня стиску валків 3 використовується ручний (іноді автоматичний) насос підвищення тиску 11 гідравлічної системи 2.

У випадку влучення в міжвалковий простір сторонніх предметів або надходження високов'язкого малопластичного матеріалу прес автоматично зупиняється. Для цього на приводі валків встановлюється муфта відбору потужності 8. Залежно від продуктивності преса на валу 6 може закріплюватися один або два пустотілих вали-барабани 7 з бандажними кільцями. В першому випадку шестірня закріплюється на валу 6 з боку привода преса; у другому - між валками. Шестірні встанов-

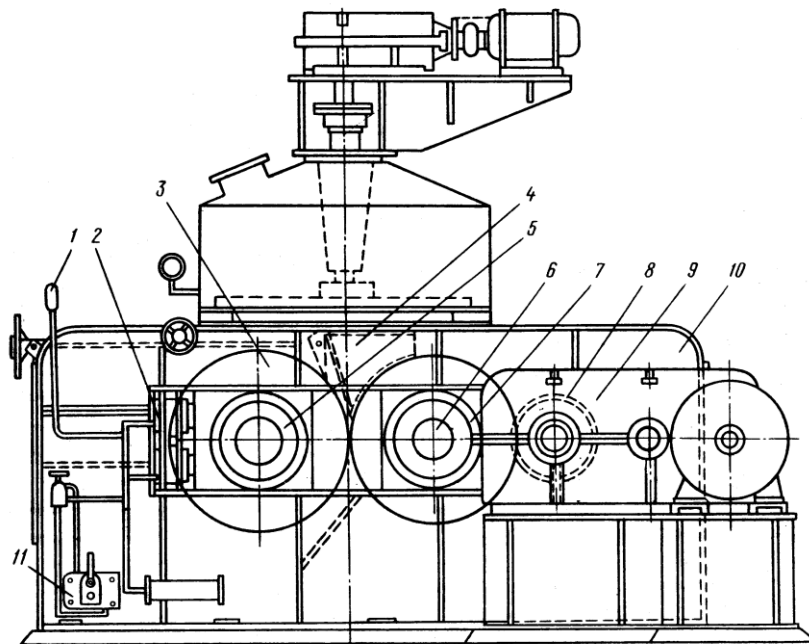


Рис. 5.7 Загальний вид вальцового преса

люються таким чином, щоб зуби однієї були зміщені стосовно зубів іншої на півк-року. Це забезпечує плавне обертання валків. Для рівномірного розподілу тиску на вали 6 і їх опорні шарикопідшипники осередку на бандажних кільцях розташовують у шаховому порядку. Вальцові преси обладнані автоматичним змазуванням всіх тертьових поверхонь. Серед великої різноманітності вальцових пресів є агрегати продуктивністю від 1 до 100 т/ч.

Технічні характеристики вальцового преса

Частота обертання валків, хв^{-1}	8-12
Питомий тиск пресування, Мпа	20-70
Зусилля, що розвиваються пресом, МН	0,8
Припустимий зазор між валками, мм	1
Розміри валків, що пресують, мм:	
діаметр.....	1000
ширина	500
Продуктивність, т/ч	50

Потужність електродвигуна, квт	200
Габаритні розміри, мм:	
довжина	9000
ширина	5000
висота.....	7500
Маса, т.....	54

В зоні обтиснення енергія вальцьового преса витрачається на подолання тертя між брикетною сумішшю та стінками прес-форм, вугільними зернами та на їх ущільнення. Додаткові опори виникають за рахунок тертя осей валків у підшипниках і зубчастій передачі. В зоні пружного розширення енергія затрачається на подолання зовнішнього тертя, що виникає при виштовхуванні брикетів з ячеек. Ця енергія частково повертається, сприяючи зрівноважуванню опору в зоні обтиснення й обертанню валків. У цілому, енергія пружного розширення невелика. Тривалість утворення брикетів становить в середньому 0,4-0,5 с, з яких на обтиснення доводиться 0,3-0,4 с, на пружне розширення - близько 0,1 с.

Охолодження і відвантаження брикетів

Охолодження і відвантаження готових брикетів - заключні операції технологічного комплексу брикетування.

Охолодження - це операція, що забезпечує необхідну механічну міцність в готових брикетів. У процесі охолодження підвищується в'язкість зв'язуючого за рахунок зниження температури брикетів від 60-65 до 20-25° С. Для охолодження брикетів потрібне певний час перебування їх в атмосфері примусово подаваного або природно омиваного повітря. Інтенсивність охолодження пропорційна відношенню об'єму брикету до його поверхні. Великі брикети охолоджуються повільніше, чим дрібні. Погіршується охолодження при багат шаровому укладанні брикетів на стрічці конвеєра. Оптимальною вважається завантаження брикетів в один - два шари.

Охолодження брикетів відбувається тим швидше, чим нижче витрати зв'язуючого. При малих (6-7%) витратах зв'язуючого досягається рівномірне зниження температури в повному об'ємі брикету. При більш високих витратах температура в брикеті знижується повільно і нерівномірно. Поверхневі шари охолоджуються значно швидше, ніж глибинні, що викликає їх деформацію і злипання.

Брикети з підвищеним вмістом зв'язуючого вимагають застосування інтенсивних мір охолодження: обдування повітрям, зрошення водою та ін. Інтенсивність охолодження залежить від типу структури зв'язуючого. Так, процес твердіння кам'яновугільного пеку проходить в 2,5-3 рази швидше, чим нафтозв'язуючого. Для охолодження брикетів з нафтозв'язуючим потрібні подовжені тракти конвеєрів із сітчастою металевією стрічкою замість прогумованої. Одночасно застосовується інтенсивний обдув повітрям і зрошення водою.

Охолодження брикетів здійснюється на спеціальних конвеєрах, що відрізняються від звичайних своєю конструкцією, довжиною і шириною. Швидкість руху такого конвеєра не перевищує 0,1-0,2 м/с.

Конструкція охолоджувального конвеєра виконується такою, щоб брикети розташовувалися на стрічці горизонтальним шаром. Для цього приводний барабан робиться діаметром не менш 1500 мм, ширина стрічки 1800-2200 мм, а довжина залежно від продуктивності від 50 до 300 м. У конвеєрах охолодження використовують обидві гілки. Брикети спочатку завантажуються на верхню гілку і рухаються по ній до приводного барабана. Потім скидаються по жолобам на нижню гілку і направляються в протилежну сторону.

У більшості випадків природне охолодження виявляється недостатнім. Застосовується примусовий обдув брикетів повітрям. Для цього до нижніх і верхніх гілок стрічки конвеєра підводять повітроводи від вентиляторів. Іноді на верхній гілці конвеєра встановлюється ряд форсунок для зрошення брикетів водою. Форсунки закріплюються в кілька рядів по довжині і ширині стрічки так, щоб факел розпилення охоплював всю поверхню охолоджуваних брикетів. Завдяки цьому водяна плівка з поверхні брикетів миттєво випаровується, не викликаючи вологовбирання. Для підвищення ефекту охолодження брикети обдувають гарячим повітрям, що викликає швидкий випар вологи та віддачу тепла. Витрати води становлять близько 100 л/ч, швидкість повітря, що обдуває, 15- 25 м/с, час обдуву - 30-40 с.

Відомий метод зрошення брикетів водяним розчином сульфит-спиртової барди. Плівка барди після висихання закриває пори й тріщини в брикетах. Це підвищує їх міцність і перешкоджає злипанню. Брикети здобувають гладку блискучу поверхню, зменшується пилення при завантаженні.

У більшості випадків брикети після конвеєра охолодження надходять у рампу (рис. 5.8). Рампа є одночасно охолоджувачем і акумулятором брикетів. Вона споруд-

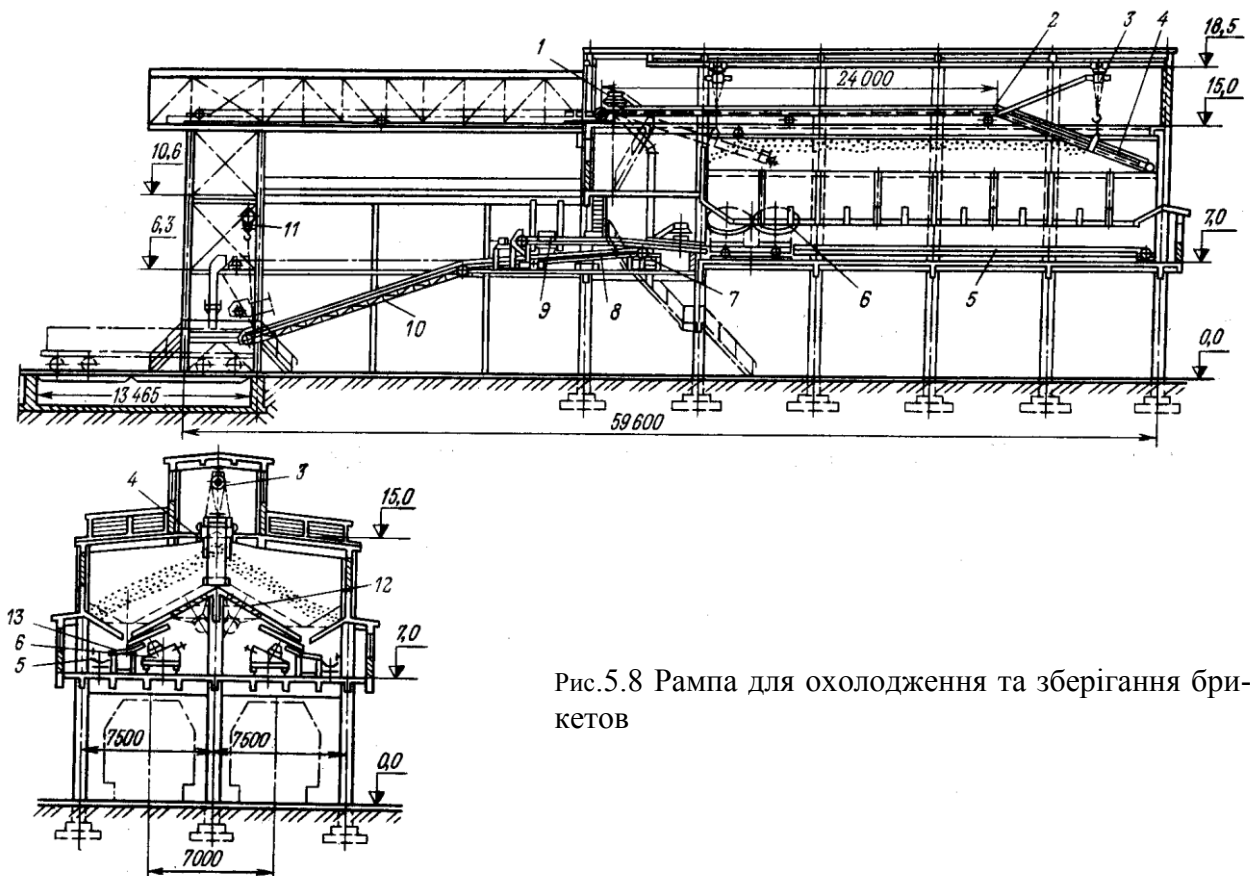


Рис.5.8 Рампа для охолодження та зберігання брикетів

джується в одному комплексі з навантажувальним пунктом брикетів. Брикети конвеєром 1 подаються на завантажувальний візок 2. З візка стрілою 4, що переміщується у вертикальному напрямку лебідкою 3, брикети розподіляються по довжині рампи. Похиле днище рампи являє собою колосникові грати 12. Через ці грати відбувається природна вентиляція повітря, а в жарку пору року - примусова. З рампи охолоджені брикети по похилій площадці 13 дисковим виштовхувачем подається у вагони. Стріла 10 переміщається у вертикальному напрямку за допомогою лебідки 11. Бій брикетів відокремлюється перед навантаженням на грохоті 9 і повертається в процес конвеєрами 7, 8.

Контрольні питання.

1. Наведіть основні операції технологічної схеми брикетування вугілля зі зв'язуючим.
2. Технологічні показники якості брикетів.
3. Підготовка вугілля до брикетування.
4. Підготовка зв'язуючих.
5. Приготування брикетної шихти.
6. Операція пресування, обладнання для пресування вугілля.
7. Операції охолодження вугільних брикетів.
8. Складування та відвантаження брикетів споживачеві.

Лекція № 6

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БРИКЕТУВАННЯ БУРОГО ВУГІЛЛЯ БЕЗ ЗВ'ЯЗУЮЧОГО

Питання, що виносяться на лекцію:

Сутність існуючих гіпотез формування буровугільних брикетів без домішки зв'язуючих речовин: бітумної, гуміново-кислотної, капілярної, колоїдної та молекулярно-капілярної, основні технологічні параметри брикетування.

Гіпотези утворення буровугільних брикетів

Існує декілька гіпотез механізму утворення брикетів з бурого вугілля при їх брикетуванні без зв'язуючих речовин.

Бітумна гіпотеза. Бітумна гіпотеза пояснює утворення брикету клеєвою дією бітумів, що знаходяться у вугіллі.

Бітумами називаються речовини, що витягаються із вугілля органічними розчинниками і їх сумішами (спиртом, бензолом, дихлоретаном, бензином та ін.) які представляють собою суміш продуктів перетворення смолистої частини рослин: смол, восків і жирних кислот.

Бітуми бурого вугілля складаються з вуглеводнів, спиртів, жирних кислот, ефірів і восків. Вихід бітумів з молодого бурого вугілля може бути більше 20 %. В старому бурому вугіллі він зменшується до 3 %. Буре вугілля, що дає вихід бітуму більше 6 %, як правило, добре брикетується.

При температурі 70-90°C бітуми розм'якшуються, плавляться, перетворюючись у пластичну масу, і, відповідно до бітумної гіпотези, склеюють частинки вугілля, виконуючи при цьому роль зв'язуючої речовини. Вода, що міститься у вугіллі, відповідно до цієї гіпотези, зменшує тертя між частинками, полегшуючи їх зближення, і, крім того, охороняє бітуми від надмірного перегріву і розкладання. При зменшенні крупності вугілля поліпшується нагрівання його часток і розм'якшення бітумів та утворюються більш міцні брикети.

Бітумна гіпотеза найбільш стара, і її неспроможність була доведена експериментально.

Гуміново-кислотна гіпотеза. Гуміново-кислотна гіпотеза пояснює зчеплення часток при брикетуванні у вугіллі гумінових кислот, що представляють собою колоїди і мають сильно виражений полярний характер.

Гумінові кислоти - це речовини, що вилучаються із вугілля слабкими розчинами лугів. Найбільший вихід гумінових кислот спостерігається у молодого бурого вугілля. Він зменшується зі збільшенням ступеня вуглефікації. Чим більше вихід гумінових кислот, тим краще брикетується вугілля.

Відповідно до цієї гіпотези, молекули гумінових кислот, завдяки сильним диполям, сприяють прояву молекулярних сил зчеплення між частинками при їх тісному зіткненні один з одним при пресуванні.

Численні дослідження по брикетуванню залишкового вугілля після видалення з нього гумінових кислот показали, що брикетна здатність його може як поліпшуватися, так і погіршуватися. Досвіди по одержанню міцних брикетів з матеріалів, що не містять гумінових кислот, наприклад лігніну (відходу гідролізного

виробництва), говорять про те, що гумінові кислоти не можуть бути зв'язувальною речовиною при брикетуванні вугілля і торфу.

Капілярна гіпотеза. Капілярна гіпотеза розглядає буре вугілля як затверділу колоїдну речовину (гель), що пронизана численними капілярами, заповненими водою. У вугільному дріб'язку розглядаються капіляри первинні, наявні в частках вхідного вугілля, і вторинні, що утворюються між точками дотику окремих часток. Число й розмір первинних капілярів залежать від ступеня вуглефікації. В молодому бурому вугіллі число і розмір капілярів більше і вміст вологи відповідно вище, ніж у старого бурого вугілля.

При сушінні бурого вугілля вода із вторинних і частково з первинних капілярів випаровується. Під впливом капілярних сил, обумовлених поверхневим натягом води, що залишилася у первинних капілярах, відбуваються стиск і усадка вугільних частинок.

При пресуванні сушонки частина капілярів руйнується, частина стискується. При стиску капілярів частина води з первинних капілярів вижимается назовні, обволікає вугільні частинки тонкою плівкою і заповнює вторинні капіляри в точках контакту частинок один з одним. Вичавлена з капілярів вода, виконуючи роль змащення, сприяє більш тісному зіткненню частинок і прояву між ними молекулярних сил взаємодії.

Після зняття тиску із брикету під дією пружних сил стислих капілярів маса вугілля трохи розширюється, одна частина вичавленої води втягується назад у капіляри, а інша залишається в точках контакту частинок, утворюючи під впливом сил поверхневого натягу ввігнуті меніски. Під дією виникаючих капілярних сил частинки зв'язуються один з одним у міцний кусок.

Однак ця гіпотеза виявляється неспроможною при спробі дати відповіді на наступні питання: чому утворюються брикети з повністю висушеного вугілля при підвищеному тиску пресування та чому у брикетів при поступовому повному їх підсушуванні зберігається значна міцність?

Колоїдна гіпотеза. Колоїдна гіпотеза пояснює утворення брикету дією молекулярних сил зчеплення Ван-дер-Ваальса. По колоїдній гіпотезі буре вугілля розглядається як речовина, що складається із двох фаз: твердої й рідкої. Тверда фаза складається із дрібних колоїдних гумінових частинок, розміром від 10^{-3} до 10^{-5} мм. При зближенні цих частинок під дією тиску пресування виникають сили молекулярного зчеплення, обумовлені ліополярними групами гумусових речовин. Ці сили обумовлюють зв'язок молекул у рідині і кристалах і поєднують колоїдні частинки в гелі. Зближення колоїдних часток під впливом тиску пресування обумовлює міцність брикетів. Чим менше тіло, тим більше відношення його поверхні до маси й тем більше величина сил поверхневого зчеплення.

Колоїдна гіпотеза заперечує вплив на процес схоплювання часток поверхневого натягу водяних плівок. Вода грає другорядну, допоміжну роль і служить тільки змазкою, що полегшує зближення часток. При недоліку вологи утрудняється зближення часток, що позначається на міцності брикетів. При надлишку вологи збільшується відстань між частинками і зменшується прояв сил взаємодії між ними; міцність брикетів зменшується. Вміст вологи, що відповідає найбільшому зближенню часток і прояву сил зчеплення, приймається за оптимальний.

Колоїдна гіпотеза певною мірою поєднує і доповнює капілярну і гуміново-кислотну гіпотези та повніше висвітлює механізм утворення брикету. З'єднання часток у брикет по колоїдній гіпотезі обумовлено колоїдною будовою вугілля, однак є матеріали неколоїдної будови (металеві порошки, кристалічні солі та ін.), які добре пресуються.

Уяви про колоїдну будову вугілля застаріли. В наш час більшість дослідників дотримуються думки, що буре вугілля є високомолекулярний полімер нерегулярної будови та аморфної структури.

Молекулярно-капілярна теорія. І. Є. Святець та А. А. Агроскін встановили, що при брикетуванні на штемпельних пресах буровугільної сушонки крупністю 0-6 мм при оптимальній вологості 18-19 % у внутрішніх шарах частинок всіх класів крупності (від +6 до 0-1 мм) крім адсорбційно-зв'язаної вологи втримується також капілярно- зв'язана волога. Потім вони визначили розміри капілярів у внутрішніх шарах підсушених часток кожної крупності, що перетерпіли різний ступінь підсушування і усадки, і необхідний зовнішній тиск для вижимання вологи з капілярів. При цьому було встановлено, що цей зовнішній тиск дорівнює оптимальному тиску пресування, що відповідає максимальній міцності брикетів із часток кожної крупності залежно від їхньої вологості.

Таким чином, в утворенні брикетів беруть участь як молекулярні, так і капілярні сили.

В процесі стиску вугільних часток при пресуванні в результаті взаємодії дотичних поверхонь відбувається спочатку їхнє зчеплення під дією всіх видів молекулярних сил. Інтенсивність дії молекулярних сил залежить від тиску до початку вижимання капілярної вологи та товщини плівки адсорбційно-зв'язаної води на поверхні часток, що зменшує дію молекулярних сил.

Волога, що потім вичавлює, з первинних капілярів внутрішніх шарів заповнює проміжки між частками, створюючи додаткові капілярні сили зчеплення. Міцність брикетів із частинок різної крупності буде залежати від вмісту капілярної вологи.

Найбільша міцність буде в брикетів із частинок розміром 1-3 мм, вміст капілярної вологи в яких оптимальний. Зі збільшенням крупності частинок міцність падає внаслідок надлишку капілярної вологи та ростискуючої дії водних плівок, а при зменшенні розміру часток (-1 мм) міцність знижується через недолік (дефіцит) капілярної вологи.

Молекулярно-капілярна теорія більш правильно пояснює механізм утворення буровугільного брикету, підтверджена експериментальними дослідженнями й практикою.

Технологічні параметри брикетування

Основні технологічні параметри брикетування вугілля без сполучної добавки - вологість і крупність вугілля (сушонки), тиск пресування, температура сушонки та тривалість пресування. Ці параметри перебувають між собою в певній залежності. Для одержання заданої міцності брикетів при зміні одного з параметрів необхідно робити зміну іншого або декількох параметрів.

Залежність механічної міцності брикетів від кожного окремого параметра брикетування вугілля часто носить екстремальний характер. Для вугілля високої здібності до брикетування ця екстремальна залежність механічної міцності від окремих параметрів брикетування має більш різко виражений характер. З погіршенням здібності вугілля до брикетування екстремальна залежність зміни міцності брикетів стає менш вираженою.

Вологість бурого вугілля. У бурого вугілля волога буває адсорбційно-зв'язаною і капілярною. Перша обумовлена адсорбцією молекул води у вигляді тонких гідратних плівок на вугільній поверхні. Капілярна волога заповнює поровий простір між частинками і зв'язує їх між собою за рахунок капілярних сил.

На рис. 6.1 для бурого вугілля марки Б1 крупністю 0-6 мм зольністю 20-22% і температурою 55-60° С показана залежність міцності брикетів від вмісту вологи в брикетуємому матеріалі. Оптимальний вміст вологи визначається взаємним впливом крупності і температури сухого вугілля. При цій волозі максимально проявляються молекулярні сили зчеплення і досягається висока міцність брикетів.

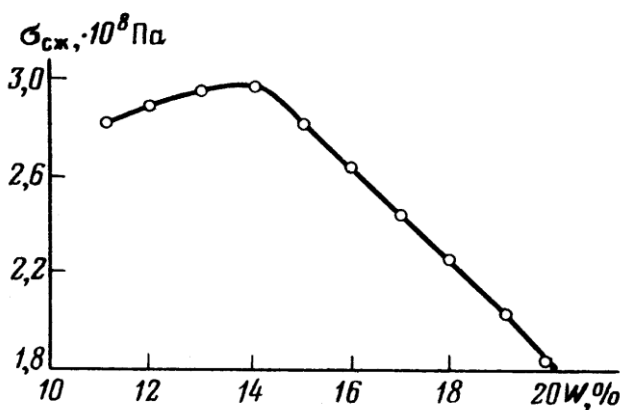


Рис.6.1 Залежність міцності брикетів на стиснення від вологості бурого вугілля

При вмісті вологи нижче 8-10% поверхня часток недостатньо покривається водними плівками. Тому зчеплення часток у процесі пресування забезпечується в основному слабкими міжмолекулярними ван-дер-ваальсовими силами. Для ефективного брикетування такого вугілля необхідні високі тиски пресування, що компенсують недолік вологи. Це приводить до "перепресування" вугілля. Брикети виходять неміцними, легко руйнуються.

З іншого боку, надлишковий зміст вологи (20% і більше) супроводжується стовщенням гідратних шарів і заповненням водою порових просторів між частинками. Товсті гідратні шари створюють розклинюючий тиск рідини в зазорі між частинками, що знижує ефект пресування, а заповнення пор водою призводить до зникнення капілярної складової сил зчеплення. В результаті міцність брикетів різко знижується.

Оптимальна вологість вугілля, що відповідає максимальній міцності брикетів, не є величиною постійною. Вона залежить від тиску пресування та крупності вугілля, а також його природи і окисненості. Оптимальний вміст вологи в бурих вугіллях крупністю 0-6 мм і зольністю до 20 % становить 14-16 % при тиску пресування 100-120 МПа.

На якість буровугільних брикетів істотно впливає розподіл вологи в окремих класах крупності. Дрібні частки вугілля швидше і легше віддають вологу при сушінні, чим більші зерна. В крупних зернах у процесі сушіння волога випаровується тільки з поверхні, затримуючись у глибинних ділянках. Згодом вона переміщається до периферії, створюючи в брикетах численні тріщини. Тому для досягнення високої міцності брикетів необхідно забезпечити мінімальну

вологорізницю між великими і дрібними зернами. Зниження вологорізниці може бути досягнуто дробленням крупних зерен (більш 3 мм) і ретельним перемішуванням дробленого продукту із класом 0-3 мм. В процесі дроблення гарячих крупних зерен значна частка вологи випаровується, що вирівнює вологість матеріалу. Для зниження вологорізниці можливо також застосування зрошення водою дрібних класів.

Крупність і гранулометричний склад. При зменшенні крупності брикетуемого матеріалу збільшується сумарна поверхня часток й, отже, зростає загальна сила зчеплення. Крім того, зменшення крупності вугілля сприяє більше щільному укладанню частинок перед пресуванням і утворенню монолітного брикету, зменшуються час і витрати енергії на тендітні й пружні деформації матеріалу при пресуванні та збільшується частка енергії та часу на корисні пластичні деформації. Отже, чим тонше здрібнене вугілля, тим більшою мірою проявляються сили зчеплення частинок і тим міцніше стають брикети.

Крім крупності частинок на утворення брикетів впливає гранулометрический склад брикетуемого матеріалу, що впливає на щільність укладання частинок. При наявності в сушонці підвищеного вмісту великих частинок збільшуються число і розміри порожнеч у масі сушонки та частина енергії пресування, що витрачається на руйнування деякої частки великих вугільних зерен і заповнення порожнеч. Витрати енергії на пластичні деформації будуть зменшуватися, а міцність одержуваних брикетів - знижуватися.

Важливе значення має рівномірний розподіл елементарних класів крупності в брикетній шихті. Воно досягається вибором технологічної схеми класифікації вугілля та відповідним апаратним оформленням. Брикети мають максимальну міцність при наступному співвідношенні класів вихідної суміші: 0-1 мм - близько 50 %, 1-2 мм - 40-45 % й 2-4 мм - 5-10 %. На брикетну спроможність негативно впливають пилоподібні частинки (менш 0,2 мм). Їх вміст не повинний перевищувати 8-10 %.

Крупність вугілля визначається цільовим призначенням брикетів. Для брикетів, що використовуються у побуті, верхня межа крупності частинок становить 4-6 мм; для технологічних брикетів - до 2 мм. У першому випадку це обумовлено умовами займистості, у другому - підвищеною щільністю структури, пов'язаною з умовами термічної переробки.

Крупність брикетуемого вугілля впливає на водостійкість брикетів. Брикети із дрібного вугілля більш щільні, менш тріщинуваті, мають високу водостійкість. Грубозернисті брикети менш водостійкі.

Тиск і температура пресування. Тиск пресування - основний параметр, що впливає на міцність брикетів. Особливо велике його значення при брикетуванні молодих бурих вугіль. Збільшення тиску пресування з 60 до 220 МПа дозволяє за інших рівних умов підвищити міцність брикетів в 3 рази (рис. 6.2а). Для різних бурих вугіль існує своя межа тиску пресування, вище якого міцність брикетів падає.

На процес пресування впливають тривалість тиску та його рівномірний розподіл в об'ємі брикетуемого матеріалу. Ущільнення відбувається не миттєво, а в часі. Це дозволяє передавати зусилля пресування послідовно від периферійних

шарів до глибинних. У первісний момент тиск поширюється в об'ємі матеріалу хвилеподібно. Підвищення зусиль сприяє деякому вирівнюванню тиску по висоті брикету.

Тривалість пресування позначається на співвідношенні та характері пластичних і пружних деформацій. При малих швидкостях наростання тиску і тривалому його впливі збільшується частка пластичних і падає частка пружних деформацій. При дуже швидкому зростанні тиску відзначаються надмірні пружні деформації. Швидке накладення тиску приводить до досить небажаного явища - запресовування повітря в порожнечах між здавлюваними зернами вугілля. Прагнути покинути

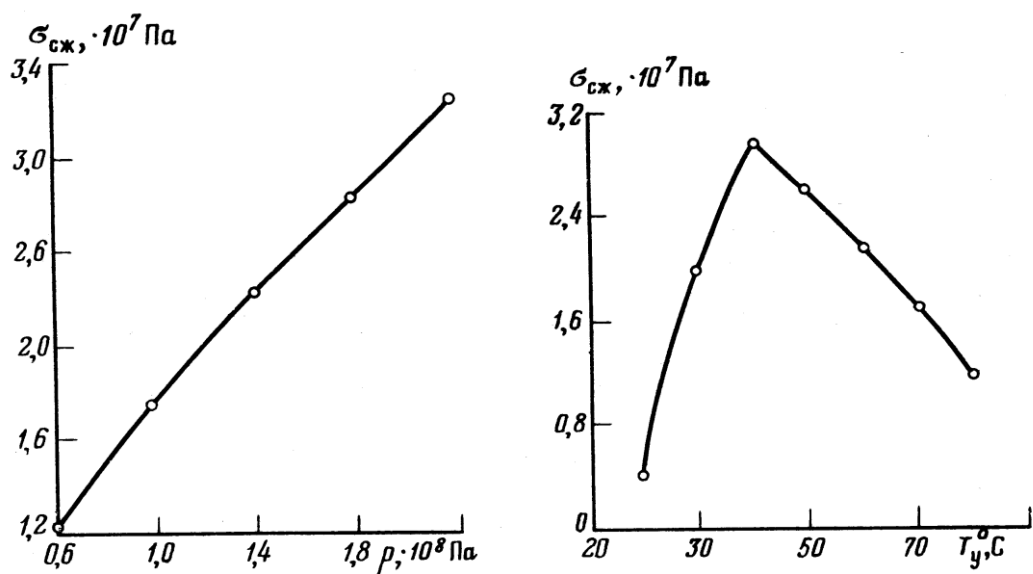


Рис.6.2 Залежності міцності буровугільних брикетів від тиску пресування (а) та температури вугілля (б).

порожнечі після зняття тиску, повітря руйнує брикети. При повільному зростанні тиску пресування повітря з порожнеч структурного каркаса віддаляється майже повністю. Міцність брикетів зберігається. Висока швидкість наростання тиску приводить до зменшення динамічного коефіцієнта тертя брикетів об стінки прес-форм. Знижуються міцність брикетів і продуктивність пресів.

Розвиток тиску пресування залежить від температури сухого вугілля. Збільшення нагрівання вугілля сприяє росту пластичних деформацій, зменшенню тертя між частинками та зниженню пружних деформацій. Високі температури сухого вугілля дозволяють брикетувати його при більш низьких тисках. Це пов'язане з інтенсивністю броунівського руху та ослабленням внутрішньомолекулярних зв'язків, що підвищують коефіцієнт пластичності.

Нагрівання вугілля поліпшує витиснення вологи з капілярів і переміщення її всередині брикету. Існує оптимальна температура, до якої може бути нагріте вугілля. Збільшення температури вище оптимальної шкідливе (рис.6.2б). Високі температури нагрівання вугілля підсилюють дію пружних деформацій у брикетах, що виходять із преса. В результаті зменшується міцність брикетів.

Для досягнення оптимальної температури вугілля перед пресуванням його охолоджують. Охолодження повинне бути короточасним, щоб не допустити збі-

льшення різниці в температурі великих і дрібних зерен. Чим менше різниця температур цих зерен, тим менше тріщин на поверхні брикетів.

Контрольні питання.

1. Сутність існуючих гіпотез формування буровугільних брикетів.
2. Дайте характеристику основних параметрів, що впливають на процес брикетування бурого вугілля.

Лекція № 7

ТЕХНОЛОГІЯ БРИКЕТУВАННЯ БУРОГО ВУГІЛЛЯ

Питання, що виносяться на лекцію:

Підготовка вугілля по крупності, сушіння вугілля перед пресуванням, охолодження вугілля перед пресуванням, пресування вугілля, штемпельний прес, його устрій та характеристики, охолодження брикетів, їх складування та відвантаження споживачам.

Технологічний процес брикетування бурого вугілля містить в собі наступні операції: підготовку вугілля по крупності, сушіння вугілля, охолодження вугілля перед пресуванням, пресування, охолодження та відвантаження готових брикетів.

Відповідно до діючих стандартів і вимог споживачів, буровугільні брикети повинні відповідати наступним технологічним показникам: маса брикету 100-500 г; механічна міцність на стирання 75-80%, на стискання і вигин відповідно 70-90 і 10-15 МПа; вологовбирання 3-4%; теплота згоряння 24000-30000 кДж/кг; зольність 10-25%.

Підготовка вугілля по крупності

Підготовка бурого вугілля по крупності зводиться до забезпечення оптимального гранулометричного складу. Залежно від вихідної крупності вугілля піддається двох- або одностадійному дробленню. Іноді першої стадії передують попереднє дроблення. Воно застосовується в тих випадках, коли в рядовому вугіллі значний вміст кусків розміром більше 400-500 мм. Попереднє дроблення здійснюється на двох рівнях. У відділенні вуглеприйому вугілля лопатевими (крильчатими) дробарками дробиться до 200-250 мм з одночасним утворенням до 50% зерен крупністю менш 25 мм. У дробильно-сортувальному відділенні за допомогою валкових дробарок крупність вугілля доводять до 0-100 мм. Замість валкових дробарок можуть бути встановлені молоткові, що забезпечують крупність дробленого продукту 0-50 мм. Між обома рівнями попереднього дроблення включається операція попереднього просівання на валкових грохотах. Просівання дозволяє виділити до 80-90% класу 0-25 мм у підрешітний продукт.

Після попереднього дроблення і просівання вугілля подрібнюється до крупності 0-6 мм: Ця операція (рис.7.1) здійснюється в такий спосіб. Підрешітний продукт грохоту попередньої класифікації (клас 0-25 мм) і дроблений у другій стадії дроблення продукт надходять на грохот попереднього просівання. Звичайно для цих цілей використовують валкові грохоти або інерційні з електропідігріванням сит. Підрешітний продукт (клас 0-6 мм) надходить на сушіння, надрешітний - у молоткову дробарку дрібного дроблення, а потім на контрольну класифікацію на вібраційних грохотах. Надрешітний продукт контрольної класифікації повертається на дрібне дроблення.

Залежно від специфічних особливостей бурого вугілля і вимог до брикетів, технологічні схеми підготовки вугілля по крупності можуть мати різні співвідношення попередніх і підготовчих операцій. Особливу увагу варто привертати на ви-

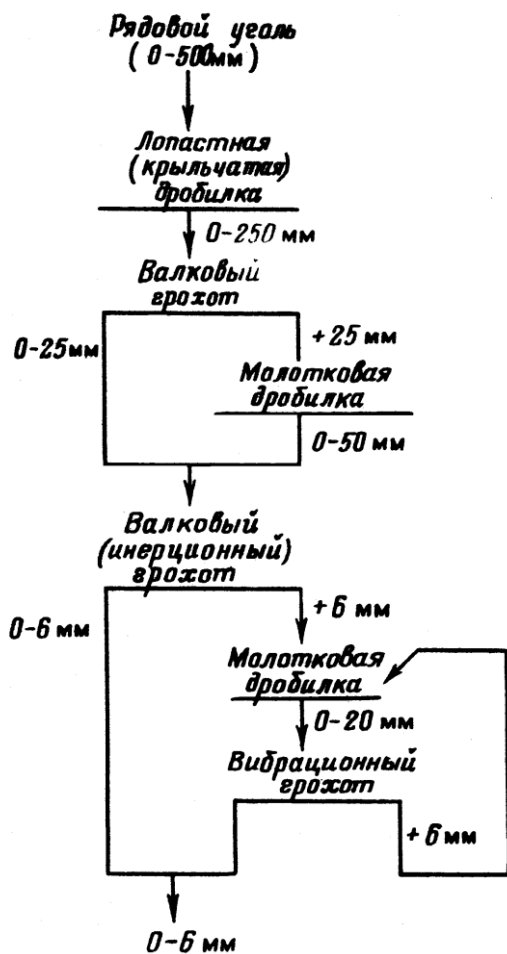


Рис.7.1 Схема підготовки бурого вугілля по крупності

від із системи волокнистого лігніту. Його присутність ускладнює роботу дробарок, забиваються грохоти, знижується продуктивність сушарок. Лігніт - вугільне "дерево", що має підвищену пластичність, але низьку здатність до брикетування. Присутність лігніту сприяє розвитку внутрішніх напружень у брикетах, що виходять із преса. Знижується їх міцність, а іноді вони зовсім руйнуються. При великому вмісті лігніту рекомендується замість молоткових застосовувати валкові дробарки, які не руйнують його, а лише роздавлюють волокна. Така обробка дозволяє порівняно легко видалити лігніт у надрешітний продукт грохотів.

Високі зольність і вологість вугілля, особливо при великому вмісті глини, негативно позначаються на роботі грохотів і знижують продуктивність дробарок через залипання. Утрудняє роботу ДСО підвищена твердість вугілля, наявність великих кусків породи. Неприпустиме перездрібнювання вугілля в процесі його підготовки, тому що воно приводить до підвищення виходу вугільного дріб'язку, зниження продуктивності сушарки та пересушування вугілля.

Погіршується якість брикетів, збільшується пилоутворення.

Для підвищення технологічного ефекту дроблення та просівання рекомендується підсушування рядового вугілля газами, що відходять з котелень.

При дробленні м'якого вугілля варто віддавати перевагу валковим дробаркам, що не допускають перездрібнювання. Рекомендується обладнати грохоти системою електрообігрівання сит, а також установлювати механічні очисники. Для підвищення ефекту контрольної класифікації при виділенні продукту кінцевої крупності варто застосовувати двохстадійне просівання.

Сушіння вугілля

Сушіння забезпечує необхідну залишкову частку вологи бурого вугілля, що є основним параметром при брикетуванні. Оптимальна частка залишкової вологи в бурих вугіллях, що йдуть на брикетування, становить 16-19%. Однак такий вміст вологи ще не гарантує одержання якісного брикету. Важливо визначити *вологорізницю* вугілля - вологість окремих класів крупності, що залежить від гранулометричного состава. Як би ретельно не здійснювався процес сушіння, вологість тонких частинок завжди набагато нижче, ніж великих. Вирівнювання вологості вугілля по класах не досягається навіть після проходження охолоджувальних пристроїв. Ная-

вність вологорізниці в окремих класах припускає різний тиск пресування для їх ущільнення. Але тому що практично цю умову виконати неможливо, то при зберіганні готові брикети можуть стискуватися або розширюватися. Ці явища тим помітніші, чим більше вологорізниця по класах крупності. Для створення умов зниження вологорізниці рекомендується зерна крупніше 3 мм після сушіння відсівати, подрібнювати і додатково сушити.

Вирівнювання вологорізниці можливо без додаткового сушіння. Для цього сухе вугілля крупніше 3 мм дробиться до 1 мм і ретельно перемішується із класом 0-3 мм. В процесі дроблення гарячих крупних зерен значна частина вологи випаровується, що приводить до зникнення вологорізниці у дробленому матеріалі. Одноразово цей метод дозволяє оптимізувати гранулометричний склад брикетитуючого вугілля. Поліпшується якість брикетів.

Для зниження вологорізниці можливе застосування зрошення водою дрібних класів. Однак цей метод не позбавлений недоліків: вода погано змочує пересушене дрібне вугілля. Введення шламової води, хоча і поліпшує змочування, але вона випаровується в основному з поверхні крупних зерен. Зрошення водою сприяє підвищенню міцності брикетів і зниженню пилоутворення при транспортуванні гарячого вугілля.

Крім перерахованих існує метод зниження вологорізниці по класах крупності шляхом обробки сухого вугілля перегрітою парою.

Для сушіння бурого вугілля застосовують парові сушарки, які забезпечують більш м'який термічний вплив на вугілля, чим газові. До основних типів парових сушарок відносяться трубчаті барабанні та тарілчаті сушарки.

Трубчаті барабанні сушарки (див. рис. 7.2 й 7.3) являють собою циліндричний, розташований під кутом 7-12°, що обертається, барабан діаметром 2,5-3 м і довжиною 7-8 м.

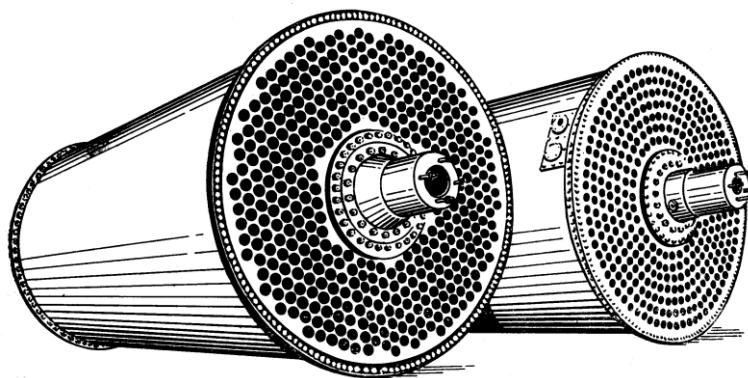


Рис.7.2 – Загальний вид трубчатої барабанної сушарки

На торцях барабана закріплені трубні решітки 10 й 14 (див. рис. 7.3), у які ввальцовані сушильні трубки 12 із внутрішнім діаметром 95-108 мм. Сушильні трубки розподілені рівномірно по шести секторах всієї поверхні трубних решіток. Число трубок коливається в межах 600-1580 залежно від типорозміру сушарки. До передніх трубних решіток кріпиться зубчастий вінець 20, за допомогою якого здійснюється обертання барабана сушарки. Пара в сушарку подається по трубі 18 і центральну трубу 13. Остання має отвори, пов'язані з міжтрубним простором.

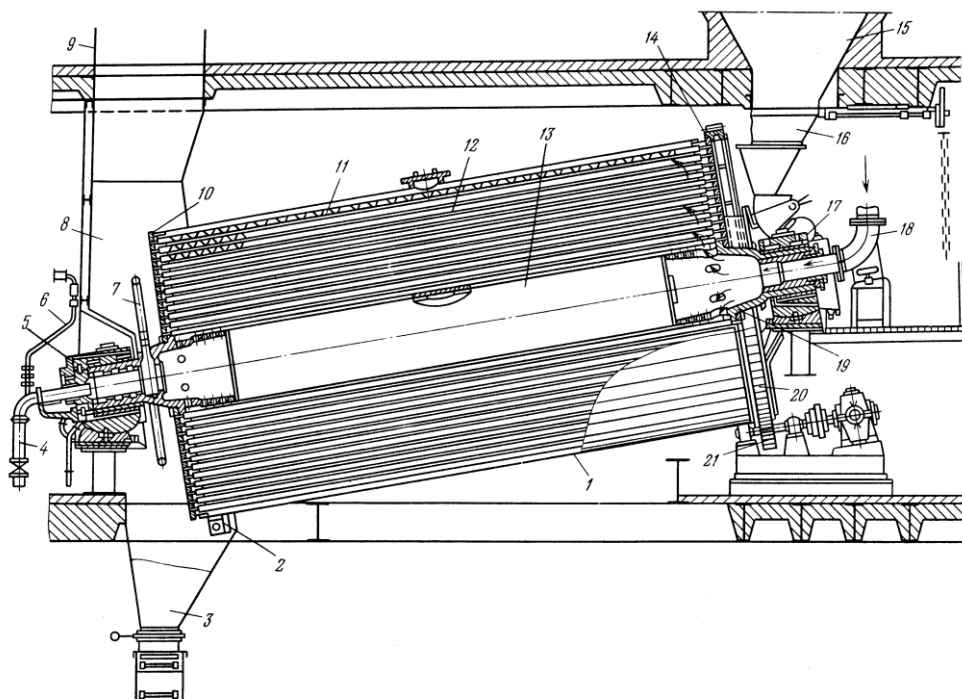


Рис.7.3 Трубчатая барабанна сушарка

Конденсат збирається в нижній частині барабана в збірниках 2.

Для збільшення заповнення і поліпшення процесу сушіння кожна трубка забезпечується спіральними вставками 11 зі змінним кроком, що убуває до розвантажувального кінця сушарки. Зменшуваний по довжині трубки крок спіралі сприяє гальмуванню висушеного матеріалу при одночасному зниженні вологовіддачі. Спіральна вставка має довжину 7 м і встановлюється на відстані 1 м від передньої частини трубок. Це сприяє більшому надходженню матеріалу в трубку при завантаженні.

Для забезпечення стійкого сушіння вугілля необхідно витримувати основні режимні параметри. Треба строго дотримуватися взаємозв'язку кута нахилу та частоти обертання трубчатої сушарки. Збільшення кута нахилу при постійній частоті обертання приводить до скорочення часу сушіння та зниженню ступеня заповнення вугіллям трубок. При більших швидкостях не досягається якісне сушіння, зростає вологорізниця. Цей недолік можна усунути, установивши сушильний барабан під невеликим кутом нахилу. Найбільш доцільно сушильний барабан установлювати під кутом 7-9° при частоті обертання 5-10 хв⁻¹.

Важливо витримувати оптимальні параметри: тиск пари 0,25 - 0,4 МПа і температуру в сушарці 126 - 147° С. Підвищення тиску пари викликає підвищення температури його насичення. Температура стінки трубки сушарки стає близької до останнього.

Охолодження вугілля перед пресуванням

Вугілля після сушіння має високу температуру. У паровій трубчатій сушарці воно нагрівається до 75-85° С. При цій температурі вугілля продовжує віддавати вологу. Виділення вологи сухого вугілля чревате ростом пружності водяних парів при пресуванні. В результаті брикети, що виходять з пресу, миттєво здобувають

велику кількість дрібних тріщин, що знижує їх міцність.

Висока температура сухого вугілля зменшує опір у пресовому каналі і збільшує нагрівання формувальних частин прес-форми. Охолодження сухого вугілля до 40-50°C сприяє роботі штемпельних пресів. Воно також сприяє руйнуванню грудок вугілля, що утворилися в процесі сушіння, а також вирівнюванню вологості у всіх класах крупності.

Охолодження сухого матеріалу є обов'язковою операцією перед брикетуванням бурого вугілля, яке іде для енергетичних потреб. Якщо брикети виготовляються для технологічних цілей, ця операція виключається. Підвищена температура вугілля при пресуванні компенсує погіршення пластичних властивостей, викликане глибоким підсушуванням. При напівкоксуванні висока теплоємність брикетів сприяє протіканню термохімічних процесів.

Для охолодження сухого вугілля на брикетних фабриках застосовують системи з охолодженням у шарі (охолоджувальні скребкові конвеєри із суцільним дном, жалюзійні охолоджувачі) і у зваженому стані (барабанні охолоджувачі, охолоджувальні конвеєри із дном, що просіває, і “киплячим шаром”). Перша система

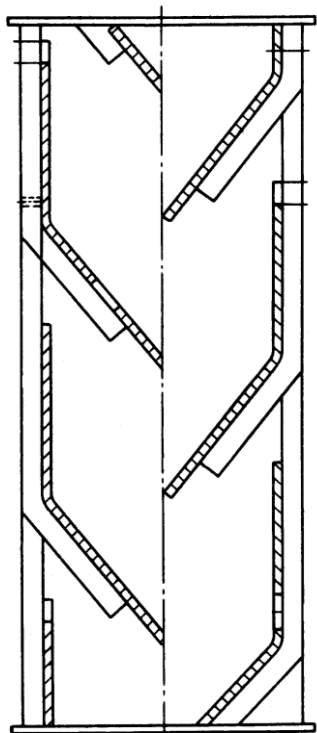


Рис.7.4 жалюзійний охолоджувач

менш ефективна, вимагає великого часу охолодження, великогабаритна. Охолодження у зваженому стані дає кращі техніко-економічні показники. Кожна система охолодження обладнається надійною знепилюючою установкою, а також апаратурою для очищення вентилязованого повітря.

Охолодження в жалюзійних охолоджувачах здійснюється шляхом повільного і рівномірного проходження вугілля по охолоджувальних елементах без затримки (див. рис. 7.4). Останні заповнюються так, щоб з них сходив надлишок сухого вугілля. В барабанних охолоджувачах у результаті протитоку холодного повітря розпушене сухе вугілля охолоджується швидше, чим у жалюзійних. Дрібне вугілля вивантажується через ланку, що просіває, барабана на відстані 0,75 його довжини, а велике рухається до кінця охолоджувача.

Використання конвеєрів різних конструкцій для цілей охолодження вугілля - найбільш зручний і простий метод. Особливо задовільні результати досягаються в скребкових конвеєрах з “киплячим шаром”, що працюють у блоці із трубчатою паровою сушаркою. Сухе вугілля завантажується на верхню гілку скребкового конвеєра, а потім переходить на нижню. Днище обох гілок виконано із щелевидного сита розміром 1-1,5 мм. Через сито продувається повітря (витрати 0,25 м³ на 1 кг сухого вугілля). Така інтенсивність продувки дозволяє знизити температуру сухого вугілля з 85-90 до 40-45° С.

Пресування

Пресування – основний процес технології брикетування бурого вугілля. Для виробництва буровугільних брикетів найбільше поширення знайшли штемпельні преси.

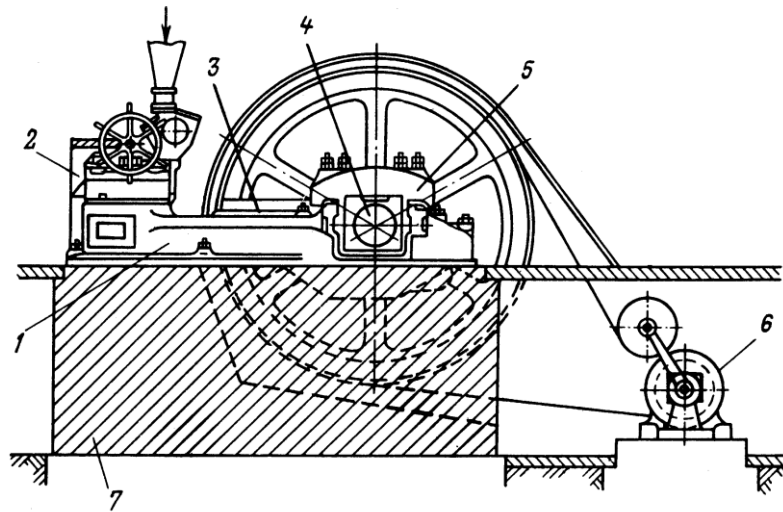


Рис.7.5 Загальний вид штемпельного пресу

Штемпельний прес (рис. 7.5) включає станину 1, пресову головку 2, пресуючий механізм 3 і привод 6. Станина служить основою для всіх частин преса, що рухаються. Вона встановлюється на потужному залізобетонному фундаменті 7.

У головці (рис. 7.6) проходять горизонтальні канали 2, у яких розташовуються прес-форми 1. У прес-формах здійснюється власно пресування. Зверху горизонтальні (матричні) канали обмежені шарнірно закріпленою натискною плитою 3. Нижня площина натискної плити опирається на прес-форми. Це дозволяє змінюючи положення натискної плити у вертикальній площині і регулювати висоту формувального каналу й тиск пресування. Спеціальний регулювальний механізм складається із гвинта 4, що проходить через гайку 5, закріплену у верхній частині головки. Гвинт з однієї сторони впирається в зовнішню частину натискної плити, а з іншої -

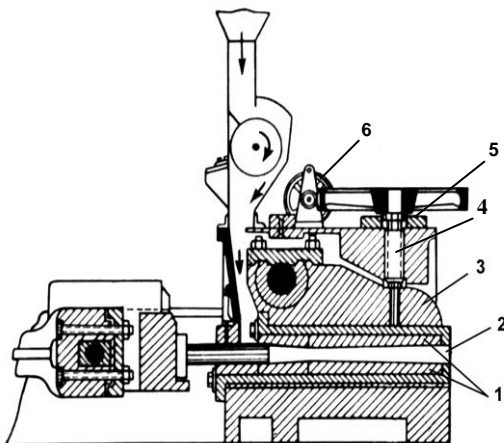


Рис. 7.6 Пресова головка

зв'язаний через черв'ячну передачу з маховиком 6. У новітніх конструкціях пресів переміщення натискної плити з метою зміни тиску пресування здійснюється через гідравлічний натискний пристрій.

Пресуючий механізм забезпечує формування брикетів. Він складається (рис. 7.7) зі штемпеля 1, повзуна 2, шатуна 3, колінчатого вала 4 і маховика 5. Штемпель, виготовлений з високосортної сталі, кріпиться до повзуна. Останній з'єднується із шатуном через підшипник 6 і рухається по напрямних станини. Шатун через підшипник 7 закріплений на колінчатому валу. Як привод в сучасних пресах

зв'язаний через черв'ячну передачу з маховиком 6. У новітніх конструкціях пресів переміщення натискної плити з метою зміни тиску пресування здійснюється через гідравлічний натискний пристрій.

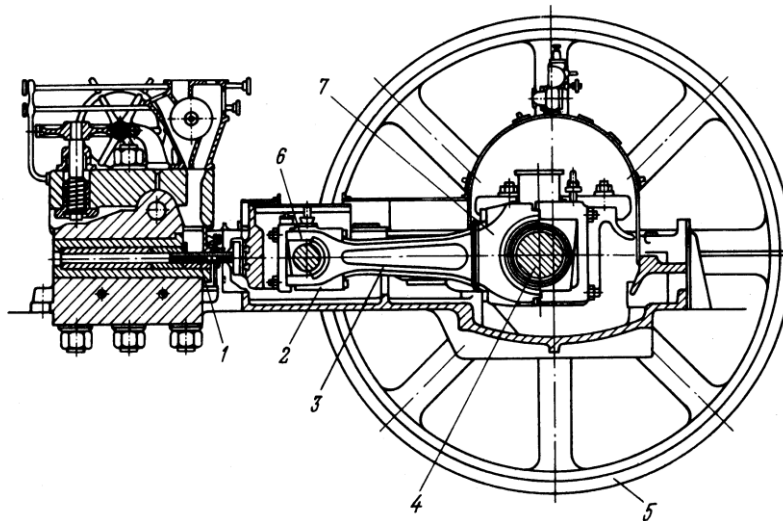


Рис. 7.7 Пресуючий механізм штемпельного пресу

застосовують високовольтні асинхронні двигуни з фазовим ротором потужністю 70-300 кВт. В промисловості застосовуються одно-, двох- і чотирьох штемпельні преса.

Матеріал, що надходить у штемпельний прес, стискується між торцем штемпеля і групою брикетів у матричному каналі. Тиск пресування розвивається за рахунок сил тертя брикетів у каналі і частково в лотку протягом певного часу. За один повний оберт колінчатого вала штемпель преса робить повний цикл зворотно-поступального руху. За цей період послідовно виконуються чотири операції: переміщення сухого вугілля із завантажувальної камери в матричний канал, пресування, проштовхування брикетів по матричному каналу та заповнення сухим вугіллям простору перед штемпелем.

Процес формування брикетів залежить від форми і розмірів елементів матричного каналу (рис. 7.8), який розділяється на п'ять зон: завантаження L_3 , пресування L_n , прямого $L_{nб}$ і зворотного $L_{об}$ букеля, витримки L_6 .

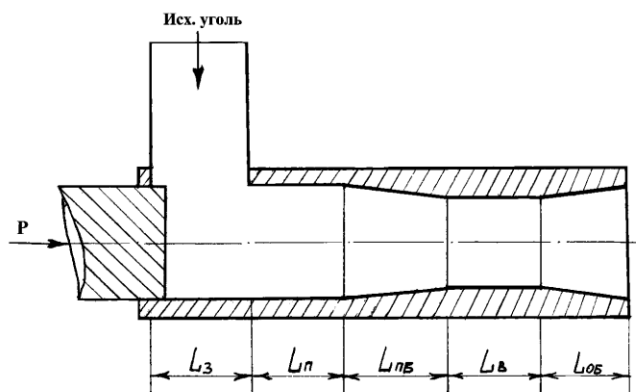


Рис.7.8 Принципова схема зон матричного каналу штемпельного пресу.

Зона завантаження служить для прийому певної маси сухого вугілля із завантажувальної камери преса. В зоні пресування відбувається первинне формування матеріалу в брикет заданої форми й маси.

В зоні прямого букеля шляхом місцевого звуження матричного каналу на заданій довжині відбувається поперечне обтиснення брикету - об'ємне формування. В результаті додаткового бічного стиску збільшується протитиск у формувальному каналі та тиск пресування, зростають щільність і міцність брикетів. Букель впливає на розподіл бічного і осевого тисків. Якщо бічний тиск в середньому по довжині матричного каналу становить 30-35%, то в букельній частині воно досягає 50-60%.

Оптимальні розміри прямого букеля (довжина і висота) у конкретному випадку встановлюються методом підбора. Залежно від властивостей сухого вугілля критерієм правильного вибору є одержання брикетів встановленої якості. За даними практики, для молодого бурого вугілля букель приймається довжиною 120-150 мм і висотою 3-5 мм. Зі збільшенням зольності і щільності вугілля висота букеля зменшується, іноді до 1-2 мм, а довжина збільшується на 30-50%.

Зона витримки брикетів під тиском - призматична частина каналу. Вона служить для стабілізації брикетуютьчих зв'язків в результаті релаксації внутрішніх напружень при переході пружних деформацій у пластичні.

У зворотному букелі відбувається зняття в брикетах основної частини залишкових внутрішніх напружень в результаті пружного розширення. Оптимальні розміри зворотного букеля встановлюються підбором залежно від властивостей сухого вугілля. Розміри прямого і зворотного букелей не завжди збігаються між собою.

Число ходів штемпеля визначає тиск пресування: зі збільшенням воно падає і навпаки. Охолодження матричного каналу сприяє росту тиску пресування. Збільшення товщини брикетів завжди знижує його міцність або викликає необхідність значного збільшення тиску пресування. На пресування в штемпельному пресі впливає тертя брикетів об стінки прес-форм. Коефіцієнт тертя залежить від властивостей бурого вугілля, вологості і температури сухого вугілля, його абразивності.

Охолодження і відвантаження брикетів

Брикети, що виходять зі штемпельного преса, мають температуру 70-80° С на поверхні й 50-60°С всередині. Її значення залежно від температури висушеного продукту і умов пресування можуть змінюватися головним чином убік зростання. Вихідні із преса брикети через наявність залишкової вологи і пружних наслідків мають низьку міцність. Вони легко деформуються, руйнуються та схильні до самозаймання. Тому обов'язкова технологічна операція - охолодження брикетів перед відвантаженням, що здійснюється на охолоджувальних жолобах, охолоджувальних конвеєрах або шляхом їх комбінації.

Охолоджувальні жолоби мають поперечний переріз, рівний розміру брикетів (рис. 7.9,а), являють собою систему з ряду металевих секцій довжиною 2,5- 4 м. Вони виконуються зі смугової або уголкової сталі. Перший жолоб перебуває безпосередньо в місці виходу брикету з матричного каналу. Число жолобів, встановлюваних на один штемпель преса, становить від 3 до 10 і визначається не

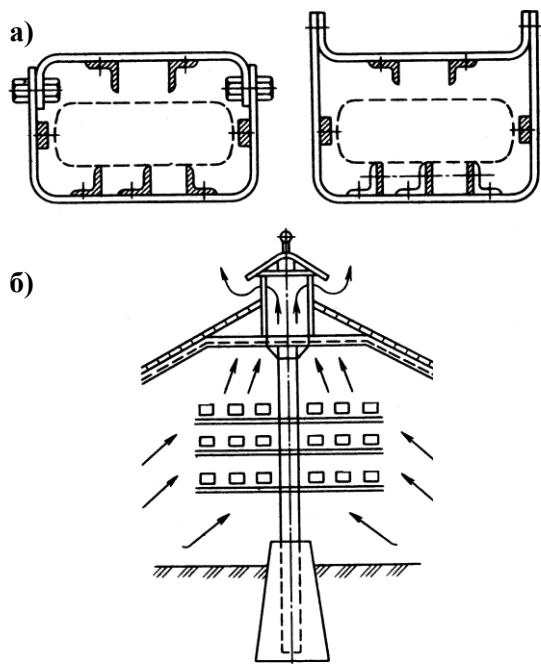


Рис.7.9 Розрізи охолоджувальних жолобів (а) та галереї охолоджувальних жолобів(б)

до мінімально припустимої температури (40°C). Якщо температура перевищує 40°C , то брикети, перебуваючи у залізничних вагонах або на складі, тривалий час зберігають і віддають надлишкове тепло. В результаті підсилюється випар вологи, відбувається усадка, послабляються внутрішньо-структурні зв'язки і міцність брикетів знижується. Якщо надлишкове тепло викликає нагрівання всередині масиву брикетів більше 60°C , то виникає небезпека їх самозаймання.

Інтенсивність цього процесу залежить також від розмірів брикетів. Чим крупніше брикет, тим він повільніше охолоджується і довше зберігає тепло в масиві. У великих брикетів значна різниця в проникності водяних парів на різних поверхнях. Ударні поверхні значно більше проникні й теплопровідні, чим бічні щільні і глясові. Отже, чим більше відношення названих поверхонь, тим триваліше повинне бути охолодження брикетів. Щодо цього завжди слід віддавати перевагу дрібним брикетам.

Для охолодження буровугільних брикетів можна з успіхом застосовувати тиххідні конвеєри. Несучим органом таких конвеєрів може бути металева сітчаста або суцільна прогумована стрічка. Укладання брикетів на охолоджувальний конвеєр здійснюються в один-два ряди. Перевага цього методу - можливість всебічної циркуляції повітря як по ударних, так і бічних поверхнях брикетів, що інтенсифікує охолодження. Зниження температури брикетів до оптимальних значень на охолоджувальних конвеєрах завершується за 40-60 хв. Для зменшення довжини конвеєра використовують дві гілки, встановлюючи на верхній і нижньої складовій скидальні пристрої. При охолодженні брикетів на конвеєрах спостерігається висока інтенсивність паровидалення. Вона приводить до утворення великої кількості усадочних тріщин. Особливо негативний вплив паровидалення спостерігається при пресуванні сухого вугілля підвищеної вологості або при наявності у нього вологорізниці.

стільки умовами охолодження, скільки створенням зусиль протидії (підпору в усті каналу преса).

В міру руху по жолобу брикети охолоджуються та в них відбувається постійне зняття внутрішніх напружень. Брикети здобувають міцні внутрішньо-структурні зв'язки. Довжина одного комплексу жолобів становить 60-80 м. При більше довгих жолобах утрудняється прошовхування по них брикетів, що може привести до їх руйнування. Жолоби розташовуються в кілька рядів під навісом (див. рис.7.9, б), що захищає брикети від атмосферних впливів.

З метою збільшення часу охолодження до 3- 4 ч жолоби встановлюють у кілька ярусів. Їх загальна довжина становить 400—600 м. Така система дозволяє забезпечити охолодження брикетів

Практикою доведена доцільність комбінованого методу охолодження: в охолоджувальних жолобах, а на завершальній стадії - в охолоджувальних конвеєрах. У цьому випадку досить повно реалізуються переваги охолодження щільно стислої стрічки брикетів у жолобах і відкритих поверхней брикетів на конвеєрах. Комбінована система спрощує компонування відділення охолодження. Підвищується його продуктивність і поліпшується ступінь охолодження брикетів. Створюються нормальні умови для завантаження брикетів у залізничні вагони і зберігання в резервному складі.

Завершальна стадія виробничого процесу брикетування - відвантаження готових брикетів. Укладання брикетів у залізничні вагони виконуються за допомогою установки стаціонарних завантажувальних стріл. Ці пристрої дозволяють м'яко при мінімальній висоті падіння розміщати брикети в залізничні вагони. Стріла переміщається у вертикальному і горизонтальному напрямках. Перед завантажувальною стрілою встановлюється контрольний грохот, що забезпечує нормований вміст дріб'язку в брикеті.

На невеликих брикетних фабриках завантаження ведеться шляхом попереднього нагромадження брикетів на складі, що виконує одночасно функцію додаткового пристрою для їх охолодження. Місткість складу повинна забезпечувати прийом брикетів впродовж декількох діб, а його продуктивність по відвантаженню відповідати 2-3-кратній проектній потужності підприємства.

Контрольні питання.

1. Підготовка бурого вугілля по крупності.
2. Підготовка бурого вугілля по вмісту вологи.
3. Як здійснюється охолодження вугілля перед пресуванням.
4. Штемпельний прес, його конструкція та принцип дії.
5. Зони матричного каналу штемпельного пресу.
6. Охолодження брикетів після пресування.

Лекція № 8

АГЛОМЕРАЦІЯ ТА ОБКАТУВАННЯ РУД

Питання, що виносяться на лекцію:

Сутність процесу агломерації, схема агломераційної установки, обкатування концентратів залізних руд, чашевий обкатувач.

Сутність процесу агломерації

Агломерація - термічний спосіб огрудкування дрібних руд, концентратів і колошникового пилу шляхом їх спікання при нагріванні.

Агломераційна шахта (суміш продуктів) складається з наступних основних компонентів: концентрат - 40-50%, вапняк 12- 20%; повернення (дрібний агломерат) 20-30%, коксовий дріб'язок 4 - 6 %; волога 6-9%. В ряді випадків у шихту додатково вводять колошниковий пил і окалину.

Вапняк і коксовий дріб'язок до змішування з іншими компонентами шихти подрібнюють до 3 мм. Крупність шихти, що спікається, дуже впливає на процес агломерації. Максимальний розмір частинок руди в шихті не повинен бути більше 8-10 мм. Більшу руду спекати недоцільно, тому що вона може бути використана в доменному виробництві без огрудкування.

При спіканні тонкоподрібнених концентратів (75% кл.-0,074 мм) в шихту рекомендується вводити 20-25% руди крупністю 6-8 мм.

Шихту перед спіканням піддають ретельному перемішуванню, зволоженню та огрудкуванню. Обкатування ведеться в обертових барабанах. Обкатуванню сприяє добавка вапна.

Паливом для агломераційного процесу в більшості випадків служить коксовий дріб'язок крупністю 2-3 мм. Він повинен бути малозольним (9-10%) і характеризуватися незначним виходом летучих речовин (2-3%).

Поверненням називається дріб'язок, який одержаний при дробленні і просіванні агломерату. Повернення крупністю 8-13 мм використовується в якості постелі на спекаючій стрічці, а клас 0-8 мм у вигляді циркулюючого навантаження повертається на повторне спікання.

Схема агломераційного процесу показана на рис.8.1. На колосникові решітки установки 1 (наприклад, на візок агломераційної машини) завантажують постіль 2. Після укладання постелі завантажують шихту шаром 250-300 мм. Під колосниковими решітками ексаустером створюється розрідження порядку 7-10 кПа, в результаті чого з поверхні в шар засмоктується зовнішнє повітря. Після включення ексаустера запалюють верхній шар шихти; це здійснюється просмокуванням розпечених до 1473-1513 продуктів горіння, що утворюються при згорянні суміші доменного і коксового газів у пальнику (або запальному горні). Продукти горіння газу віддають тепло верхньому шару шихти, видаляючи з нього вологу, і створюють умови для початку горіння палива шихти. Горіння підтримується повітрям, що просмоктують із атмосфери. Зона горіння б поступово переміщається зверху вниз (до колосників) зі швидкістю 10-40 мм/хв. При пе-

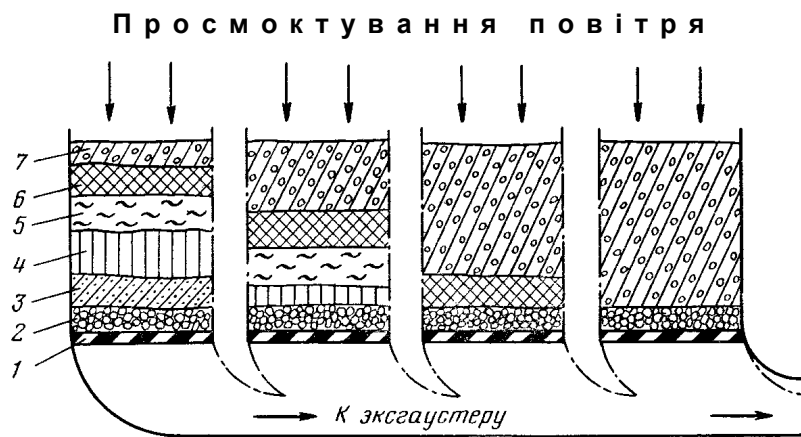


Рис.8.1 Схема агломераційної установки

реміщенні зони горіння до достели процес спікання закінчується. Процес триває 7-15 хв. Особливістю агломераційного процесу є те, що в кожен даний момент горіння відбувається тільки у вузькому шарі шихти (не більше 40 мм). Нижче зони горіння перебуває шихта, в якій частки пального не можуть горіти через низьку температуру, недостатньої для запалення (менше 973 К), і малого вмісту кисню в просмокуваному газі.

В зоні горіння палива (коксіка) протікають процеси перекристалізації мінералів. Фізико-хімічні властивості агломерату визначаються температурою в цій зоні.

Вище зони горіння перебуває готовий агломерат 7, через який просмокується повітря. Прохолоджуючи агломерат, повітря нагрівається. Тепло повітря використовується в нижчеліжачій зоні горіння палива, де температура досягає 1673-1873К. Зона готового агломерату 7 характеризується закінченим термічним процесом. В цій зоні має місце часткове окислювання киснем повітря залізорудних матеріалів готового агломерату - перехід частини магнетиту в гематит.

За зоною горіння іде зона нагрівання шихти 5, в якій протікають процеси розкладання карбонатів, гідратів, а також відновлювальні процеси. Хоча в цілому агломераційний процес проводиться з надлишком повітря, для мікро обсягів, що містять палаючі частки палива, характерна відбудовна атмосфера.

В зоні сушіння 4 випаровується гігроскопічна волога шихти. При висиханні грудочки шихти, частково розсипаючись, ущільнюються її. З цієї причини зона сушіння представляє найбільший опір проходженню газів через шихту. Зона переволоження 3, що лежить над зоною постелі, характеризується підвищеною вологістю. Переволоження відбувається внаслідок конденсації водяної пари, при зіткненні газів, що відходять, з більш холодною частиною шихти.

Постіль прямої участі в процесі агломерації не приймає. Вона охороняє колосникові решітки від впливу високих температур, запобігає просипанню шихти через зазори, полегшує схід агломерату з решіток після закінчення процесу.

Розподіл на зони процесу спікання прийнято умовно, тому що в дійсності він протікає безупинно. Температура газів, що відсмоктують ексгаустером, протягом тривалого часу становить 323-333 К і тільки в останні хвилини процесу

підвищується до 473-573 К. Агломераційний процес є високо економічним, тому що забезпечується майже повне використання тепла газів, що відходять, і значної частини тепла готового продукту.

В результаті спікання одержують спік. Попередньо охолоджений спік дроблять і направляють на просівання для відділення гарячого повернення (клас 0-8 мм). Агломерат крупністю більше 8 мм надходить на охолодження і далі на просівання. Після просівання агломерат класів +50 та -50 +13 мм направляється в доменний цех, а клас -13 +8 мм - для використання в якості постелі на агломераційній машині.

Найбільше поширення для агломерації залізних руд і концентратів одержали агломераційні машини конвеєрного типу, які являють собою конвеєр, що складається з окремих візків, що переміщуються по замкнутих напрямних.

Каркас із напрямними є основою, на якій монтуються візки, число яких залежить від розмірів машини. Переміщення візка здійснюється приводом, розташованим у головній частині машини. Рух візків у зворотному напрямку у бік привода відбувається самоходом внаслідок ухилу нижньої частини машини.

На горизонтальній (робочій) ділянці візки проходять по рейковому шляху над 15 вакуум-камерами, з'єднаними з газовим колектором екстаустером.

В головній частині машини системою живильників здійснюється завантаження шихти на візок і запалювання її під горном горючими продуктами горіння суміші коксового або доменного газів. В міру просування візків до розвантажувального кінця машини (хвостова частина) шихта перетворюється в спік (агломераційний пиріг) (див. рис.1.1).

Надалі візки, розвантаживши агломерат на охолоджувач, повертаються по нижній похилій ділянці шляху в головну частину машини, і потім знову піднімаються на горизонтальну ділянку.

Для дроблення агломераційного спека застосовують одновалкові зубчасті дробарки. Для відділення гарячого повернення застосовують самобалансові грохоти. Охолодження агломерату здійснюють в спеціальних охолоджувачах.

Обкатування концентратів залізних руд

Обкатування - процес огрудкування зволжених тонкоподрібнених матеріалів (60-80% класу -0,044 мм), заснований на здатності їх при перекочуванні утворювати гранули сферичної форми (окатиші) без застосування безпосереднього тиску.

Ріст видобутку і переробки тонковкраплених залізних руд і бідних залізистих кварцитів приводить до збільшення виробництва тонкоподрібнених концентратів. Огрудкування таких концентратів(що містять 90-95% класу -0,074 мм) агломерацією неефективно внаслідок зниження продуктивності агломераційних машин. У зв'язку із цим в останні 10-20 років для огрудкування тонких концентратів широко застосовують обкатування вихідної шихти і наступний зміцнюючий випал отриманих окатишів. Останні міцні, легко транспортуються і мають цінні металургійні властивості.

Процес одержання окатишів з концентрату складається із трьох основних стадій: підготовки компонентів шихти до обкатування, одержання сирих окатишів та їх зміцнюючого випалу.

Шихта для виробництва окатишів складається із залізорудної частини, що флюсують і зміцнюючих добавок та іноді твердого палива.

Формування окатишів відбувається за рахунок сил взаємодії між зволуженими часточками шихти, тісний контакт між якими обумовлений ущільнюючими зусиллями, що виникають при перекочуванні окатишів в обкатувачі. При цьому капілярні сили, що виникають при утворенні водних менісків в тонких порах на поверхні окатишів, є найбільш істотними в сумі сил, що визначають міцність сирих окатишів. Здатність концентрату утворювати окатиші визначається його фізичними властивостями, в першу чергу питомою поверхнею та гранулометричним складом, а також схильністю до змочування. Питома поверхня і крупність концентратів, використовуваних для виробництва окатишів, становлять відповідно 1500- 2500 см²/г та 75-90%; класу - 0,044 мм відповідно.

Як добавка для флюсування застосовуються вапняк і бентоніт. Вологість шихти перед обкатуванням повинна бути на 2-3% нижче оптимальній. Відсутній об'єм води додається при обкатуванні.

Сирі окатиші повинні бути досить міцними для можливості транспортування їх від обкатувачів до палючих агрегатів. Окатиші вважаються придатними, якщо вони не руйнуються після 5-6 скидань із висоти 300 мм.

Окатиші не повинні розтріскуватися в процесі їх зміцнюючого випалу. Для поліпшення властивостей сирих окатишів в концентрат вводять добавки: бентоніт, що підвищує опір роздавлюванню й розтріскуванню при швидкому підсушуванні, вапняк, що служить флюсом і збільшує опір окатишів удару при перевантаженнях і роздавлюванню при підсушуванні. Бентоніт являє собою високодисперсну глину, здатну утворювати гелі з дуже розвинутою поверхнею.

Кращими вважаються лужні бентоніти, в обмінному комплексі яких переважають лужні іони Na⁺ і K⁺ з високою здатністю до гідратації. Наявність іонів лужноземельних металів в обмінному комплексі, здатність до гідратації яких менше лужних, знижує якість бентоніту. Бентоніт застосовується крупністю 85-87% - 0,074 мм, вологістю 5-8%. Витрати його становлять 0,7-1,5% шихти.

Для обкатування концентратів використовують барабанні або чашеві обкатувачі.

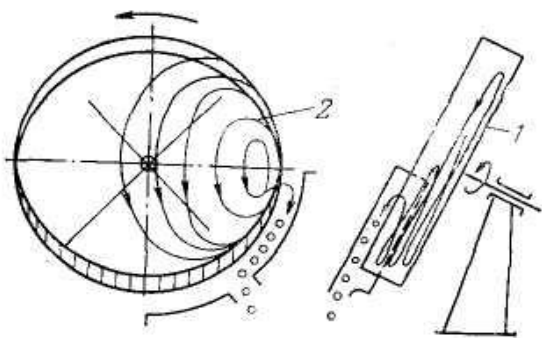


Рис.8.2 Схема чашевого обкатувача

Чашевий (тарілчастий) обкатувач (рис.8.2) являє собою обертову чашу 1 у вигляді диска з бортом по окружності, встановлену під кутом 40-60° до обрїю. Обкатування матеріалу відбувається на дні чаші. Внаслідок сил злипання матеріал комується і окатиші, що утворюються, піднімаються на деяку висоту, а потім скачуються вниз по траєкторіях 2, при цьому відбувається збільшення розміру окатишів що вже утворилися, і виникнення дрібних

грудочок - нових центрів обкатування. Кінцева крупність окатишів становить 10-16 мм.

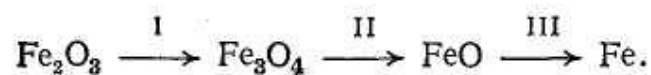
Сирі окатиші піддають сушінню, нагріванню і випалу на колосниковій конвеєрній машині або в обертовій трубчастій печі.

Металізація окатишів здійснюється з метою часткового відновлення оксидів заліза до металу. Це сприяє підвищенню техніко-економічних показників їх використання в доменному виробництві. Одержання металізованих окатишів із застосуванням в якості відновлювача твердого палива здійснюється двома способами:

- тонкоподрібнене паливо змішується з залізорудним концентратом і флюсами, з суміші одержують рудно-паливні окатиші, що піддають відновленню;
- обкатується шихта без палива, після чого окатиші відновлюються в шарі твердого палива.

Сирі рудно-паливні окатиші виготовляються за звичайною технологією. Їх випал і відновлення роблять при температурі 1473-1623 К.

Процес відновлення залізорудних мінералів в окатишах протікає в три стадії:



Контрольні питання.

1. Розкрийте сутність процесу агломерації.
2. Послідовність операцій технології агломерації руд.
3. Обкатування та його призначення.
4. Принцип дії чашевого обкатувача.

Література

Основна література

1. Елишевич А.Т. Брикетирование полезных ископаемых. - М.: Недра, 1989.

Допоміжна література

2. Крохин В.Н. Брикетирование углей. - Г.: Недра, 1984.
3. Равич В.М. Брикетирование в цветной и черной металлургии. - М.: Металлургия, 1980.