

продукта при снижении доли несвязанного нитрита с 66,6 % до 13,3 % для колбас из мяса птицы и с 63,3 % до 34,2 % для колбас из мяса кролика, (в % к внесённому).

Скорректированные дозы нитрита обеспечивают полноту его связывания с пигментами мяса без снижения качественных характеристик продукта.

Работа представлена на V научную конференцию «Успехи современного естествознания», 27-29 сентября 2004 г., РФ ОК «Дагомыс», г. Сочи

**ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
РАЗРУШЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

Беспятов Г.А.

*Кузбасский Государственный Университет,
Кемерово*

Вещество угля на молекулярном уровне состоит из двух взаимосвязанных частей:

1. ядер (кристаллитов), обладающих структурой графита;
2. боковой бахромы, состоящей из кислородо-содержащих групп, играющих роль перемычек и связывающих первичные элементы между собой, а кристаллиты придают жесткость и укрепляют всю систему.

Несовершенная упаковка кристаллитов и образованных ими молекулярных слоев приводит к микропористости. Классификация пор зависит от возможного фазового состояния поглощенного в порах газа и включает в себя пять групп:

1. микропоры;
2. субмикропоры;
3. мезопоры;
4. макропоры;
5. супермакропоры.

Находясь в микропорах, молекулы сорбата взаимодействуют между собой, и при их плотной упаковке в микропорах это молекулярное взаимодействие является взаимодействием отталкивания. При изменении силового состояния структурных элементов угольного вещества часть энергии молекулярного отталкивания молекул сорбата может передаваться угольному скелету, а при его разгрузке от внешних сил вызвать дополнительное растяжение и, тем самым, обеспечить локальное разрушение угольного вещества. Как показали исследования [1], энергия межмолекулярного отталкивания молекул сорбата, аккумулированная в микропорах, соизмерима с энергией разрыва вандерваальсовских и водородных связей между структурными элементами. При этом, взаимодействие отталкивания молекул сорбата и угольного вещества может не только усилить эффект разрушения угля, но и является начальной движущей силой этого процесса, обладая определенной упругостью.

Сорбированный в микропорах газ влияет не только на характеристики разрушения угля, но и на формирование в нем новых микропористых сорбционных структур. Эта закономерность прослеживается и для влажных углей. Хотя наличие влаги не изменяет количество самих микропористых структур по срав-

нению с сухими углями, однако, она снижает величину энергетического барьера формирования новой микропористой структуры.

Рассмотрим энергетический баланс микропористых сорбционных структур. Выделим элемент горной среды массива $\omega_{ijk} \in \Omega$. Будем считать, что в пространстве $\Omega(x_1, x_2, x_3)$ горного массива до начала горных работ $t < t_0$, все элементы ω_{ijk} упорядочены и образуют пространственную решетку (каркас) среды. При деформации массива ($t > t_0$) элемент ω_{ijk} поглощает энергию упругой деформации ΔE_{ijk} , которая увеличивает внутреннюю энергию элемента ΔU_{ijk} . Разность $(\Delta E_{ijk} - \Delta U_{ijk})$ характеризует переход элемента среды ω_{ijk} с одного энергетического состояния в другое, отдавая избыток энергии в виде звуковой волны. Элементы ω_{ijk} , находящиеся в возбужденном состоянии, могут либо поглощать энергию, переходя на более высокий уровень либо, разрушаясь и отдавая энергию, возвращаться на более низкий энергетический уровень, т.е. имеет место бифуркация. Энергетический баланс обоих видов поглощения равен [2]

$$-K \Delta x = \left(\sum w_1 P_{i,i-1} - \sum w_2 P_{i,i+1} \right) j \Delta U \Delta x. \quad (1)$$

Учитывая определение интенсивности $I = jc$, где c – скорость звука в данной среде, найдем коэффициент поглощения энергии K :

$$K = \sum w_1 P_{i,i-1} \left(1 - \frac{\sum w_2}{\sum w_1} \right) \frac{\Delta U}{c}. \quad (2)$$

Если $\sum w_1 < \sum w_2$, то коэффициент поглощения $K > 0$, а это означает затухание звуковой волны. При $\sum w_1 > \sum w_2$ $K < 0$ и тогда интенсивность звукового поля растет, что означает образование ударной волны разрушения. Таким образом, сорбционные процессы инициируют упругие волновые поля в угольном массиве.

Упругие волны, интерферируя с преломленными ударными волнами, образуют интерференционные волны (ИВ). Последние затухают значительно быстрее, чем волны более низкого диапазона, так как коэффициент K пропорционален квадрату частоты. В то же время ИВ обладают высокой интенсивностью при относительно небольших амплитудах колебания. Затухающие ИВ превращаются в слабые ультразвуковые волны. Наличие влаги в порах угольного пласта при наличии ультразвуковых полей вызывает явление кавитации. Кавитационные микроскопические пузырьки, попадая в область разряжения, сильно расширяются за счет того, что давление содержащегося внутри газа превосходит суммарное действие поверхностного натяжения и давления жидкости.

Изменение радиуса кавитационной полости в поле ультразвуковой волны хорошо описывается уравнением Нолтинга-Непайреса [3], однако это уравнение допускает только численное решение.

Для нахождения кинематических характеристик захлопывающегося кавитационного пузырька рассмотрим наиболее простую задачу о смыкании стенок сферической полости в несжимаемой жидкости под

действием постоянного давления газа [2]. Кинетическая энергия массы смыкающейся жидкости равна

$$W_{кин} = 2p \int_R^{\infty} V^2(r) r^2 dr. \quad (3)$$

С учетом уравнения неразрывности

$$V(r) = U \frac{R^2}{r^2}, \quad (4)$$

получим

$$W_{кин} = 2p \int U^2 R^3. \quad (5)$$

Эта кинетическая энергия равна работе, совершенной силой давления P , по уменьшению объема полости от первоначального значения $\frac{4}{3}pR_0^3$ до ко-

нечного $\frac{4}{3}pR^3$, т.е.

$$A = \frac{4}{3}pP(R_0^3 - R^3). \quad (6)$$

Приравнивая формулы (5) и (6), получаем выражения для скорости движения стенок захлопывающейся полости

$$U = \left[\frac{2}{3} \frac{P}{r} (R_0^3 - R^3) - 1 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Из выражения (7) найдем полное время ∂t захлопывания пустой полости с начальным радиусом R_0 . Учитывая, что $U = \frac{\partial R}{\partial t}$, и вводя замену пере-

менных $R = R_0 x^{\frac{1}{3}}$, найдем

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \left[6 \frac{P}{r R_0^2} \right]^{\frac{1}{2}} x^{\frac{1}{3}} (1-x), \quad (8)$$

откуда

$$\begin{aligned} \partial t &= R_0 \left(\frac{r}{6P} \right)^{\frac{1}{2}} \int_0^1 x^{-\frac{1}{6}} (1-x)^{-\frac{1}{2}} dx = \\ &= R_0 \left(\frac{r}{6P} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\Gamma(\frac{5}{6}) \Gamma(\frac{1}{2})}{\Gamma(\frac{4}{3})} \approx 0,915 R_0 \left(\frac{r}{P} \right)^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Расчеты по формуле (9) показывают, что время захлопывания пустой полости изменяется от $5 \cdot 10^{-2}$ до 10^{-2} с.

Исследуем изменение давление внутри захлопывающегося пузырька. Давление в полости пузырька подчиняется политропическому закону

$$\frac{P_{\Gamma}}{P_{\Gamma_0}} = \left(\frac{R_0}{R} \right)^3. \quad (10)$$

Благодаря наличию в кавитационном пузырьке газа, скорость движения газа не будет стремиться к бесконечности, а радиус полости не сократится до нуля, как это вытекает из формулы (7). Найдем ми-

нимальный радиус пузырька исходя из работы по сжатию газовой смеси:

$$A_{\Gamma} = \int_{R_0}^R P_{\Gamma_0} \left(\frac{R_0}{R} \right)^3 4pR^2 dR. \quad (11)$$

при $g = 1,31$ интеграл (11) принимает вид

$$A_{\Gamma} = -4pP_{\Gamma_0} R_0^3 \left(\frac{R_0}{r} \right)^{-1}, \quad (12)$$

где минус обусловлен направлением действующих сил.

При полном сжатии полости до минимального радиуса вся энергия смыкающейся жидкости, определяемая формулой (6), идет на работу сжатия парога-

зовой смеси (12), а значит (при $\frac{R_0}{R_{\min}} \gg 1$),

$$R_{\min} \approx \frac{3R_0 P_{\Gamma_0}}{P}. \quad (13)$$

Отношение $\frac{P_{\Gamma_0}}{P} = q$ (его принято называть параметром газосодержания) составляет $0,02 \div 0,04$ [3]. Следовательно, радиус пузырька при его захлопывании уменьшается в десятки раз. В момент захлопывания пузырька развивается давление до $4 \cdot 10^3$ МПа, порождающее сферические, быстро затухающие в пространстве ударные волны. Таким образом, происходит диспергирование угля до мелких фракций типа угольной муки. Наличие мелкодиспергированных участков в угольных пластах характерно для зон, опасных по внезапным выбросам угля и газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айруни А.Т. Бобин В.А. Модель макроструктуры угольного вещества. //Изв. ВУЗов, Горный журнал, №2,1987, с 1-7.
2. Беспятов Г.А., Вылегжанин В.Н., Золотых С.С. Синергетика выбросоопасной горной среды. Новосибирск. Наука. Сибирская издательская фирма РАН.1996 г., с 190.
3. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. –М.: Наука, 1966 г.

Работа представлена на V научную конференцию «Успехи современного естествознания», 27-29 сентября 2004 г., РФ ОК «Дагомыс», г. Сочи