УДК 622.81; 622.235.5

В.И.ЧЕРНОБАЙ, Г.П.ПАРАМОНОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), Россия

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФЕКТИВНОСТИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КОЛЧЕДАННЫХ РУДНИКАХ

Взрывы сульфидной пыли и опасные выбросы сернистого газа по-прежнему остаются актуальной проблемой при взрывных работах на колчеданных месторождениях. Предложено решение этой проблемы путем использования оптимизированного состава взрывчатого вещества. Проведен теоретический анализ основных характеристик взрывчатого превращения предложенных составов в зависимости от физико-химических свойств и содержания предохранительных добавок во взрывчатом веществе. Полученные графические зависимости позволяют дифференцированно подойти к выбору состава взрывчатого вещества, обеспечивающего эффективную работу взрыва и надлежащую безопасность взрывных работ.

Explosions of a sulphidic dust and dangerous emissions of sulphurous gas still remain an actual problem at explosive works on copper deposits. In the given work the decision of this problem is offered by use of the optimized structure of explosive. The theoretical analysis of the basic characteristics of explosive transformation of the offered structures is lead depending on physical and chemical properties and the maintenance of safety additives in explosive. The received graphic dependences allow is differentiated to approach to a choice of structure of the explosive providing effective work of explosion and appropriate safety of explosive works.

Необходимость введения инертных добавок в состав взрывчатого вещества (ВВ) продиктована решением проблемы безопасности при взрывных работах в рудниках, опасных по взрыву мелкодисперсной пыли и образованию ядовитых газов.

Однако наличие добавок во взрывчатом веществе играет отрицательную роль в тепловом балансе взрыва, поглощая часть тепла на свой прогрев, фазовые переходы и эндотермическое разложение. Кроме того, добавки являются балластом, снижающим теплоту взрыва в расчете на единицу массы ВВ.

Цель данной работы – определение оптимальных физико-химических параметров инертных наполнителей в составе ВВ. Приведены результаты физико-математических исследований взрывного разложения, основанные на моделировании химических и фазовых равновесий при высоких значениях температуры по универсальному термодинамическому методу определения характеристик равновесия произвольных гетерогенных систем с использованием фундаментального принципа максимума энтропии [2].

В качестве исследуемой модели была использована смесь гранулита АС-8 с 5- и 10-процентным по массе добавлением следующих инертных добавок: 1) $CaCO_3$ (мел); 2) $CaMgC_2O_6$ (доломит); 3) $(NH_2)_2CO$ (мочевина); 4) Li_2CO_3; 5) Na_2CO_3; 6) K_2CO_3. Каждая смесь рассматривалась в термодинамических условиях, подобных термохимическим реакциям в бризантной зоне действия взрыва шпурового заряда, т.е. начальное давление около 800 МПа, температура воспламенения примерно 3300 К. После чего смесь самопроизвольно изоэнтропно расширялась до достижения атмосферного давления. Результаты расчетов (без промежуточных значений) представлены в табл.1, 2 и на графике.

Полученные в результате расчетов данные по теплоте (5357,1 кДж/кг), выделяемой при горении чистого гранулита АС-8, незначительно отличаются от справочных значений теплоты взрыва (5230 кДж/кг [1]). Данное соответствие указывает на корректность постановки условий моделирования и правдоподобность полученных результатов

Таблица 1

Термохимический расчет взрывчатого разложения гранулита АС-8 с 5-процентным содержанием ингибиторов

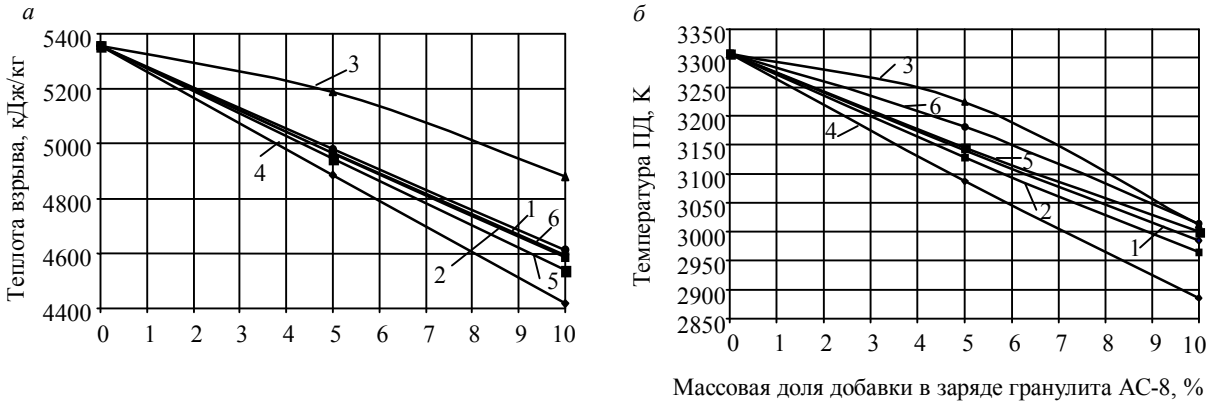
Параметры	АС-8 без добавки	$CaCO_3$	Доломит	Мочевина	Li_2CO_3	Na_2CO_3	K_2CO_3
ρ, г/см^3	0,86 / 0,86	0,88 / 0,88	0,88 / 0,88	0,85 / 0,85	0,87 / 0,87	0,87 / 0,87	0,87 / 0,87
$V_{уд}$, см^3/г	1,1616 / –	1,1377 / –	1,1375 / –	1,1787 / –	1,1509 / –	1,143 / –	1,1446 / –
P, МПа	899,9 / 0,1	837,7 / 0,1	835,6 / 0,1	885 / 0,1	812 / 0,1	830,5 / 0,1	845 / 0,1
T, К	3308 / 801,2	3139,6 / 836,6	3128,1 / 817,4	3223,5 / 727	3087,8 / 862	3146 / 841	3180,9 / 837
$n = c_p / c_v$	1,153 / 1,246	1,1533 / 1,2314	1,1532 / 1,2351	1,1615 / 1,2519	1,1618 / 1,2182	1,187 / 1,229	1,1561 / 1,2313
Q_v, кДж/кг	0 / 5357,1	0 / 4967,5	0 / 4961,4	0 / 5189,8	0 / 4884,8	0 / 4946,2	0 / 4980,5

Примечание: 1. Параметры: ρ – плотность; $V_{уд}$ – удельный объем; P – давление; T – термодинамическая температура; n – показатель политропы; Q_v – удельная теплота взрыва. 2. В числителе и знаменателе соответственно начальные и конечные значения.

Таблица 2

Термохимический расчет взрывчатого разложения гранулита АС-8 с 10-процентным содержанием ингибиторов

Параметры	$CaCO_3$	Доломит	Мочевина	Li_2CO_3	Na_2CO_3	K_2CO_3
ρ, г/см^3	0,9 / 0,9	0,9 / 0,9	0,84 / 0,84	0,88 / 0,88	0,9 / 0,9	0,88 / 0,88
$V_{уд}$, см^3/г	1,1136 / –	1,1135 / –	1,1958 / –	1,1402 / –	1,1245 / –	1,1342 / –
P, МПа	781,1 / 0,1	777,4 / 0,1	843,6 / 0,1	722,5 / 0,1	759 / 0,1	791,2 / 0,1
T, К	2985,6 / 866,8	2964,2 / 826,5	3011,8 / 676,2	2886 / 913,5	3000 / 879,4	3014,2 / –
$n = c_p / c_v$	1,1299 / 1,2178	1,131 / 1,2251	1,1745 / 1,2133	1,1524 / 1,1934	1,1509 / 1,2124	1,1407 / 1,2179
Q_v, кДж/кг	0 / 4595,6	0 / 4586,9	0 / 4879,1	0 / 4418,7	0 / 4537,4	0 / 4611



Зависимость теплоты взрыва (*а*) и температуры продуктов детонации (ПД) гранулита АС-8 (*б*) от содержания ингибиторов

1 – $CaCO_3$; 2 – $CaMgC_2O_6$; 3 – $(NH_2)_2CO$; 4 – Li_2CO_3; 5 – Na_2CO_3; 6 – K_2CO_3

с параметрами взрывчатого разложения, что дает право считать полученные по данной методике результаты достоверными.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Ингибировать окисление сульфидной пыли, а также предотвращать ее взрыв можно, или связывая активные промежуточные продукты детонации в менее активные, не способные поддерживать процесс окисле-

ния, или способствуя более быстрому разложению активных промежуточных продуктов в конечные. Ответственным за ингибирующие действия галогенидов щелочных металлов является металл, на поверхности которого идет гетерогенная каталитическая реакция превращения активных промежуточных продуктов в конечные продукты. Это превращение локализовано на поверхности добавки, что препятствует распространению цепной реакции. Сочетание в одной молекуле катализаторов разложения и превращения делает галогениды щелочных металлов наиболее эффективными при гашении пламени. Ингибирующее действие галогенидов щелочных металлов при их добавлении к заряду ВВ проявляется также в том, что они способствуют более полному превращению в конечные продукты веществ, входящих в состав ВВ, и тем самым уменьшению содержания в продуктах взрыва активных радикалов.

2. Расчетами установлено, что концентрация наполнителя в составе ВВ может достигать 10 % по массе, тем самым обеспечивается незначительное снижение детонационных характеристик заряда ВВ, что практически не влияет на мощность взрыва.

3. Расчетами показано, что при изоэнтропном расширении продуктов детонации до нормальных условий выход сернистого газа снижается почти в 2 раза и без ингибиторов за счет содержания в самой руде инертных минералов, способных связывать серу.

4. На ингибирующую способность наполнителей влияют параметры как адиабатического состояния продуктов детонации, так и дальнейшего изоэнтропного расширения смеси «ПД + сульфидная пыль». Эффективность ингибирования в значительной степени зависит от начальных значений давления и температуры. Достигая больших значений, последние определяют выход сернистого газа: компоненты смеси интенсивнее вступают в реакции по связыванию атомарной серы и SO и при дальнейшем охлаждении не позволяют сере окисляться и выделять сернистый газ.

5. Введение ингибирующих добавок в заряд ВВ следует считать наиболее существенным фактором предотвращения воспламенения сульфидной пыли при ее перемешивании с продуктами детонации. Для предотвращения воспламенения сульфидной пыли необходимо, чтобы при расширении продуктов взрыва температура их была ниже температуры воспламенения, концентрация же ингибирующей примеси должна быть не меньше ее предельного значения, достаточного для предупреждения взрыва сульфидной пыли и выброса сернистого газа.

6. Получен ряд равноценной ингибирующей способности карбонатных добавок в зависимости от их массовой доли в заряде ВВ, %: Li_2CO_3 – 3, Na_2CO_3 >4,5, K_2CO_3 >6, $CaCO_3$ >8, $CaMgC_2O_6$ >10. Применение мочевины опасно выбросом H_2S и других ядовитых газов запредельных концентраций, так как в ней имеется водород, а это самый активный центр по связыванию серы.

Полученные теоретические результаты подтверждены экспериментально-промышленными исследованиями на Гайском ГОКе [3]. Самой неприемлемой добавкой оказалась мочевина ($(NH_2)_2CO$): из-за наличия в ней большого количества водорода и азота продуктами реакции горения сульфидной пыли становились H_2, H_2S, NH_3, CH_4, содержание которых значительно превосходили уровни ПДК, однако образований оксидов серы выявлено при этом не было. Самыми эффективными добавками следует считать Li_2CO_3 и $CaCO_3$, поскольку в результате их применения газовый состав оказался наименее опасным не только по завершении, но уже и на промежуточных стадиях реакции горения исследуемой смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дубнов П.В.* Промышленные ВВ / П.В.Дубнов, Н.С.Бахаревич, А.И.Романов. М.: Недра, 1988.

2. Теоретический метод расчета энергетических и основных физико-химических параметров потока / О.Н.Молчанов, М.М.Китаин, Е.А.Суховицкая, Ж.Т.Земцева / Государственный институт прикладной химии. Л., 1989.

3. *Чернобай В.И.* Снижение выброса сернистого газа при взрывных работах на колчеданных рудниках // Записки Горного института. 2003. Т.155. Часть 1. С.93-97.