



Рисунок 2 – Температура плавления нанокристаллов золота как функция их размера [8]

Используя экспериментальные результаты рисунка 2, можно определить поверхностное натяжение малых частиц золота, оно оказалось равным $\alpha = 366$ эрг/см². Зная молярный объем золота $v = 10,2$ см³/моль, нетрудно вычислить оптимальное значение $r_0 = 5,1$ нм при заданной температуре T (например, $T = 300$ К) процесса выщелачивания в том случае, если речь идет о крупнице чистого золота. В случае окисленных или сульфидных руд качественный анализ эффективности извлечения золота можно проводить

на основе соотношения (1). Из которого следует, что чем больше по абсолютной величине энергия Гиббса, тем меньше эффективность извлечения золота. Отметим также, формулой (6) определяется зависимость оптимального размера частиц минерала от температуры – чем меньше температура, тем больше размер зерна минерала и тем меньше трудозатрат на его измельчение. Эмпирически этот эффект был обнаружен во многих работах и послужил основой выщелачивания золота из крепких золотосодержащих руд за счет использования криодезинтеграции (циклического промерзания-оттаивания руды) [9]. Его применение повышает кинетику растворения золота при кучном выщелачивании руд.

Отметим, что в Казахстане 65 % золотосодержащих руд относятся к категории упорных, и месторождения таких руд в нашей стране практически не отрабатываются.

Увеличить поверхностное натяжение минерала (см. формулу (6)) можно за счет роста дефектности его поверхности, например, воздействуя мощными электромагнитными импульсами, потоками электронов и др. В число наиболее перспективных технических решений по использованию искусственных энергетических воздействий на руды входят методы: СВЧ-нагрева, действия энергией ускоренных электронов и электрохимические методы. Однако по своей природе эти высокотехнологичные методы энергоемки и малопроизводительны, поэтому их использование до сих пор ограничивается применением при рудоподготовительных операциях на обогатительных фабриках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучное выщелачивание золота. Зарубежный опыт и перспективы развития: Справочник / Под ред. В.В. Караганова, Б.С. Ужкенова. М.; Алматы, 2002. 260 с.
2. Минеев Г.Г., Минеева Т.С. Кучное выщелачивание золота из руд различного состава // Цветные металлы. 2005. № 4. С. 28-31.
3. Рогов Е.И., Языков В.Г., Рогов А.Е. Математическое моделирование в горном деле. Алматы: Lem., 2004. 242 с.
4. Яворский В.В., Юров В.М. Прикладные задачи термодинамического анализа неравновесных систем. М.: Энергоатомиздат, 2008. 336 с.
5. Гохштейн А. Я. Поверхностное натяжение твердых тел и адсорбция. – М.: Наука, 1976. 256 с.
6. Пат. 58155 Республики Казахстан. Способ измерения поверхностного натяжения и плотности поверхностных состояний диэлектриков / Юров В.М., Портнов В.С., Пузеева М.П.; Опубл. 15.12.2008, Бюл. № 12.
7. Пат. 58158 Республики Казахстан. Способ измерения поверхностного натяжения магнитных материалов / Юров В.М., Портнов В.С., Пузеева М.П.; Опубл. 15.12.2008, Бюл. № 12.
8. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А. и др. Введение в физику поверхности. М.: Наука, 2006. 490 с.
9. Черный К.Н. Кучное выщелачивание золота в круглогодичном режиме // Горный журнал. 2006. № 1. С. 19-20.

УДК 622.236.004.42

КЛИМОВ Ю.Н., САТЛЕР
О.Н.

Расчет весовых коэффициентов целевых функций при разрушении породных негабаритов

Динамика разрушения породных негабаритов клиновыми устройствами, расположенных в предварительно пробуренном шпуре, при многократном приложении ударной нагрузки к хвостовику клина зависит от многих факторов, из которых нами были выделены пять наиболее существенных.

С использованием программы ANETR [1] проведено многофакторное планирование и в каждом опыте установлены сочетания значений следующих факторов:

диаметр негабарита; сопротивление породы растяжению; диаметр шпура; длина плашки клинового устройства и энергия единичного удара. С использованием программного комплекса ANSYS LS-DYNA [2] для каждого сочетания получены значения целевых функций: количество ударов, необходимых для разрушения негабарита ($N_{уб}$, шт); КПД передачи энергии удара в негабарит через клиновое устройство (η); удельные энергозатраты разрушения ($H_{уд}$, Дж/м²) (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты моделирования в среде ANSYS LS-DYNA

№ эксперимента	Диаметр негабарита	Сопротивление породы растяжению	Длина плашки	Диаметр шурура	Энергия удара	Количество ударов	КПД	Удельные энергозатраты разрушения
	$D, \text{ м}$	$\sigma_p, \text{ МПа}$	$L_{\text{шп}}, \text{ м}$	$D, \text{ м}$	$E, \text{ Дж}$	$N_{\text{уд}}, \text{ шт}$	η	$H_w, \text{ Дж/м}^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,6	6	0,35	0,06	112,5	4	0,99	71,95
2	1	10	0,45	0,08	337,5	9	0,96	377,74
3	0,8	8	0,4	0,07	225	6	0,94	1308,69
4	1,4	14	0,55	0,1	562,5	42	0,92	3846,26
5	1,2	12	0,5	0,09	450	14	0,85	18287,22
6	0,6	10	0,4	0,1	450	1	0,98	66,38
7	1	8	0,55	0,09	112,5	11	0,99	555,85
8	0,8	14	0,5	0,06	337,5	6	0,90	539,71
9	1,4	12	0,35	0,08	225	95	0,39	102237,24
10	1,2	6	0,45	0,07	562,5	6	0,94	2145,38
11	0,6	8	0,5	0,08	562,5	2	0,77	135,65
12	1	14	0,35	0,07	450	16	0,87	2917,63
13	0,8	12	0,45	0,1	112,5	10	0,99	311,97
14	1,4	6	0,4	0,09	337,5	14	0,93	4019,71
15	1,2	10	0,55	0,06	225	105	0,04	152132,73
16	0,6	14	0,45	0,09	225	14	0,92	441,71
17	1	12	0,4	0,06	562,5	12	0,86	2742,75
18	0,8	6	0,55	0,08	450	2	0,83	214,65
19	1,4	10	0,5	0,07	112,5	243	0,35	156158,21
20	1,2	8	0,35	0,1	337,5	24	0,88	4677,90
21	0,6	12	0,55	0,07	337,5	2	0,85	90,72
22	1	6	0,5	0,1	225	15	0,91	1380,71
23	0,8	10	0,35	0,09	562,5	16	0,83	2112,02
24	1,4	8	0,45	0,06	450	39	0,81	13308,75
25	1,2	14	0,4	0,08	112,5	190	0,32	177261,53

При выборе характеристики ударного устройства, используемого для разрушения негабаритов, необходимо учитывать значения всех трех целевых функций. Степень важности каждой функции можно определить с помощью весовых коэффициентов.

Для расчета значений весовых коэффициентов воспользуемся методом ранжирования [3].

Порядок действий при использовании этого метода следующий.

1. Объекты экспертизы располагаются в порядке их предпочтения (ранжирования). Место, занятое при такой расстановке в ранжированном ряду, называется рангом.

2. Наиболее важному, по мнению эксперта, объекту экспертизы приписывается наибольший балл, всем остальным – в порядке уменьшения их относительной значимости, при этом для каждого объекта баллы назначаются в пределах 1.

3. Полученные результаты измерений нормируют, т.е. делят на общую сумму баллов. Определенные таким образом весовые коэффициенты принимают значения от 0 до 1, а их сумма становится равной 1.

В нашем случае проводится ранжирование 25 экспертами (по числу проведенных экспериментов) 3-х объектов экспертизы (по количеству целевых функций).

Все значения объектов экспертизы приводятся к безразмерным величинам путем деления значений функций на максимальное из них в каждом столбце

(таблица 2).

Таблица 2 – Безразмерные значения объектов экспертизы

	№ эксперимента	Объекты экспертизы		
		$N_{\text{уд}}, \text{ шт}$	η	$H_w, \text{ Дж/м}^2$
эксперты	1	0,02	1,00	0,0004
	2	0,05	0,97	0,0021
	3	0,03	0,95	0,0074
	4	0,24	0,93	0,0217
	5	0,08	0,86	0,1033
	6	0,01	0,99	0,0004
	7	0,06	1,00	0,0031
	8	0,03	0,91	0,0030
	9	0,48	0,39	0,5763
	10	0,03	0,95	0,0121
	11	0,01	0,78	0,0008
	12	0,09	0,88	0,0165
	13	0,06	1,00	0,0018
	14	0,08	0,94	0,0227
	15	0,90	0,40	0,8588
	16	0,08	0,93	0,0025
	17	0,07	0,87	0,0155
	18	0,01	0,84	0,0012
	19	0,81	0,35	0,8814
	20	0,14	0,88	0,0264
	21	0,01	0,85	0,0005
	22	0,08	0,92	0,0078
	23	0,09	0,83	0,0119
	24	0,22	0,82	0,0752

	25	1,00	0,32	1,0000
--	----	------	------	--------

При обработке результатов экспертизы выполняем следующие операции:

- определяем сумму рангов, предоставленных всеми экспертами объекту экспертизы,

$$\text{сумма ранга } G_j = \sum_{i=1}^n G_i;$$

$$G_{Ny\phi} = 4,69; G_{\eta} = 20,56; G_{Hw} = 3,65;$$

- определяем сумму рангов всех объектов экспертизы, предоставленных всеми экспертами,

$$\text{сумма 3-х рангов } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G_{i,j} = 28,91;$$

- определяем весомость или весовой коэффициент каждого объекта экспертизы. Значения весовых коэффициентов рассчитываем по формуле:

$$g_j = \frac{\sum_{i=1}^n G_{i,j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G_{i,j}},$$

где n – количество экспертов;

m – число «взвешиваемых» показателей;

$G_{i,j}$ – коэффициент весомости j -го показателя, данный i -м экспертом.

$$g_{Ny\phi} = 0,16; g_{\eta} = 0,71; g_{Hw} = 0,13.$$

Причем должно обязательно выполняться условие

$$\sum_{i=1}^3 g_i = 1.$$

При оценке тех или иных объектов экспертиз воз-

никает необходимость в количественной оценке и анализе степени согласия экспертов.

Мерой согласованности суждения группы экспертов является величина коэффициента конкордации (W).

$$W = \frac{12 \cdot S}{n^2 \cdot (m^3 - m)},$$

где S – сумма квадратов отклонений всех оценок рангов каждого объекта экспертизы от среднего значения;

n – число экспертов;

m – число объектов экспертизы.

Коэффициент конкордации изменяется в диапазоне $0 < W < 1$, где 0 – полная несогласованность между экспертами; 1 – полная согласованность.

В нашем случае при $S = 179,69$; $n = 25$ и $m = 3$ коэффициент конкордации $W = 0,14$.

Для уточнения (улучшения) весовых коэффициентов иногда применяется подход, при котором отбрасываются наиболее высокие и низкие оценки.

Согласно таблице 1, наибольшему разбросу значений подвержена целевая функция «удельные энергозатраты на разрушение». При удалении наибольших (эксперименты 5, 9, 15, 19, 24, 25) и наименьших (эксперименты 1, 6) значений целевой функции получим новые величины весовых коэффициентов:

$$g_{Ny\phi} = 0,19; g_{\eta} = 0,58; g_{Hw} = 0,23,$$

которые в большей степени соответствуют значимости каждой из целевых функций для процесса разрушения породных негабаритов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков М.А., Махов А.А. Статистико-детерминированный метод построения многомерных моделей с использованием ЭВМ: Учеб. пособие. Караганда: КарПИИ, 1988. 70 с.
2. Сатлер О.Н., Климов Ю.И. Многофакторный эксперимент при моделировании процесса разрушения породного негабарита // Науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана». (Караганда, 23–24 дек. 2009 г.) / КарГТУ. С. 287–289.
3. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.

УДК 669.779.052:553.322

МУХТАР А.А.

Исследование продуктов термokatалитической дегидратации и восстановления бурожеlezнякового концентрата жидким углеводородом

Схема термохимической подготовки Лисаковского бурожеlezнякового гравитационно-магнитного концентрата (ГМК) к обесфосфориванию включает процесс его прокалики с целью удаления гидратной влаги в окислительной среде при температуре 950–1050 °С. Полученный при этом гематитовый огарок подвергается выщелачиванию 5 % раствором серной кислоты для удаления фосфора. Кек после выщелачивания с содержанием 0,24 % фосфора и до 60 % железа используется как кондиционный концентрат для последующей выплавки чугуна [1, 2].

Для значительного снижения температуры про-

калки ГМК предложен способ термokatалитической дегидратации и восстановления (ТКДВ) оолитов, предварительно обработанных жидким углеводородным материалом [3, 4].

Установлено, что при ТКДВ полное удаление влаги из ГМК осуществляется при температуре 600–650 °С в течение 45–90 минут.

Значительное снижение температуры процесса прокалики ГМК при ТКДВ вероятно протекает по следующей схеме: адсорбированная органическая масса жидкого углеводорода на оолитах в результате термической обработки подвергается каталитической дест-