

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ МАКСИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ПРИ СУЛЬФАТИЗИРУЮЩЕМ ОБЖИГЕ ЧЕРНОВОГО МЕДНОГО СУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Л.М. Каримова, Е.Т. Кайралапов

ТОО «Инновация», г. Караганда, Казахстан

Проведены многофакторные эксперименты гранулированных черновых медных сульфидных концентратов по влиянию содержания серы в концентрате, заданной температуры воздуха, размера гранул, расхода воздуха на исследование условий максимального использования тепла химических реакций процессасульфатизирующего обжига. Получены математические модели, которые использованы для определения оптимальных областей проведения обжига с точки зрения попадания в зону допустимых температур по условиям сохранения образующихся сульфатов, а также по условиям недопущения спекания материала. Установлено, что не превышение допустимой температуры обжига может быть обеспечено при содержании серы несколько больше 10 % за счет понижения температуры воздуха и при работе на более крупных гранулах. Но при температуре воздуха 500 °С оптимальная температура превышает при любых условиях. По полученным кривым нагревания материала рассчитана кажущаяся энергия активации по подобию обработки данных ДТА, которая составила 16,626 кДж/моль и свидетельствует о лимитировании процесса внутренней диффузией газообразных реагентов через слой образующихся сульфатов.

Ключевые слова: медный концентрат; сульфатизирующий обжиг; обобщенное уравнение; оптимальная температура.

Влияние взаимосвязанных факторов обжига – продолжительности, температуры, расхода воздуха и минералогического состава концентрата – требует оптимизации ввиду формирования максимума температур в обжиговых аппаратах с противотоком газа и материала и необходимости недопущения превышения определенной температуры максимума для обеспечения полноты процесса сульфатизации, который ухудшается выше 550 °С за счет образования ферритов меди [1]. Для выявления вклада тепла химических реакций в формирование максимума температуры слоя необходима такая организация эксперимента, при которой фиксируется изменение температуры слоя по продолжительности процесса при постоянной температуре подаваемого в слой воздуха вплоть до выравнивания этой температуры с температурой слоя на участке его охлаждения. В этом случае будет выявлен не только максимум температур, но и распределение температуры по продолжительности процесса, что в целом дает представление о том, что формирование максимума является прямым результатом выделения тепла за счет окисления сульфидов до сульфатов, о чем свидетельствует превышение температуры обжигаемого материала над температурой нагретого воздуха. Варьирование температуры нагреваемого воздуха вместе с вариацией других факторов позволит определить такие их комбинации, при которых тепло химических реакций обеспечит необходимый и достаточный вклад для осуществления процесса обжига при наименьшем расходе на нагревание воздуха.

Это является существенным аргументом в пользу реализации предварительного обжига бедных сульфидных концентратов перед дальнейшей гидрометаллургической переработкой огарка.

Степень обжига сульфидных материалов зависит от количества воздуха, поступающего в печь. Однако не менее важным является недопущение спекания материала, которое происходит выше 650 °С [1]. В работах [2–4] проведена оптимизация процесса сульфатизирующего обжига малосернистого чернового медного флотоконцентрата и исследовано влияние различных факторов процесса в лабораторной шахтной печи для сернокислотного выщелачивания.

Эксперименты проводили путем последовательного изучения действующих факторов методом Зейделя – Гаусса – Малышева [5]. Изучали влияние содержания серы в концентрате β_s , %; заданной температуры воздуха t_b , °С; размера гранул d , мм; расхода воздуха V , м/с на исследование условий максимального использования тепла химических реакций процесса сульфатизирующего обжига. Центральный эксперимент соответствовал условиям: $\beta_s=2,97$ %, $t=400$ °С, $V=0,048$ м/с, $d=8,5$ мм.

Концентрат окатывали в грануляторе, имеющем чашу диаметром 0,4 м с подачей разбрызгиванием технической воды. Фракции гранул необходимого размера отсеивали на ситах. Исследуемые концентраты, полученные путем переработки (методом флотации) забалансовой медной сульфидной руды Жезказганского месторождения

Металлургия чёрных, цветных и редких металлов

(Карагандинская область, Казахстан), представлены в табл. 1.

Таблица 1
Содержание основных компонентов в концентрате, %

Cu	S	Fe
0,82	1,3	4,69
3,91	2,95	4,69
4,73	2,97	5,46
7,75	13,94	14,71
13,51	19,25	17,91

Судя по этим данным, содержание серы коррелирует с содержанием меди и железа, поэтому в качестве действующего фактора приняли β_S , %; тем более что этот элемент в наибольшей мере изменяет свою валентность с S^{-2} до S^{+4} и S^{+6} .

Лабораторные исследования проводили в шахтной электропечи, имеющей реактор из кварцевой трубки диаметром 40 мм. Внутри реактора помещали корзинку с влажными гранулами, в середине гранул и снизу корзины находились термопары. Заданная температура воздуха поддержива-

лась на всем протяжении опыта. Рост температуры в слое за счет выделения тепла химических реакций фиксировали по времени с одновременным определением максимально достигнутой температуры. Прекращение эксперимента осуществлялось по мере снижения до заданной температуры воздуха. Затем корзинку извлекали и охлаждали в эксикаторе. Средняя влажность исходных гранул составляла 10 %.

Результаты экспериментов по изучению экзотермичности процесса сульфатирующего обжига черновых медных сульфидных концентратов приведены на рис. 1. Предварительный анализ полученных частных зависимостей относится к условиям центрального эксперимента.

Судя по общему виду кривых распределения температуры по продолжительности обжига, наибольшее влияние на величину максимума оказывает содержание серы. Остальные факторы обеспечивают не превышение допустимой температуры. Из них наибольшее различие в достижении температуры максимума и времени его достижения проявляется при изменении заданной температуры

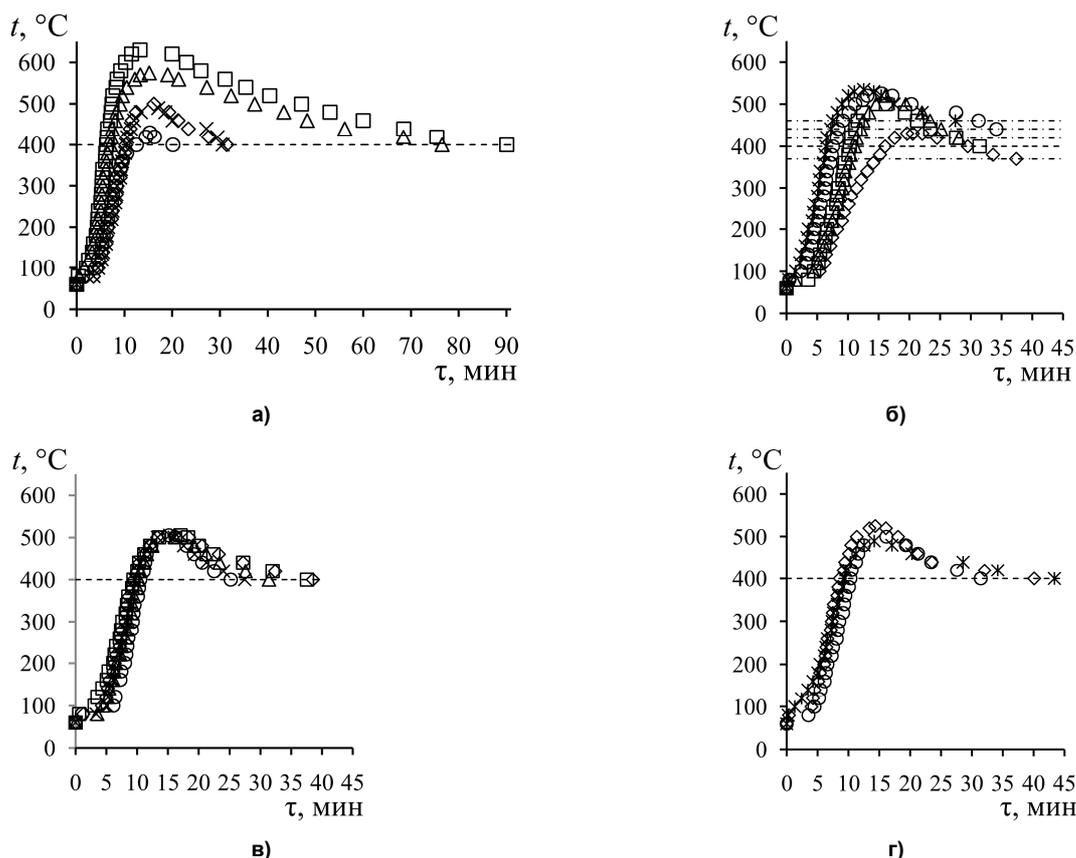


Рис. 1. Влияние действующих факторов на температуру слоя по мере протекания процесса сульфатирующего обжига гранулированного медного сульфидного концентрата: а – влияние содержания серы в концентрате при $t = 400$ °С, $V = 0,048$ м/с и $d = 8,5$ мм (\circ – при содержании $\beta_S = 1,3$ %; \times – $\beta_S = 2,95$ %; \diamond – $\beta_S = 2,97$ %; Δ – $\beta_S = 13,94$ %; \square – $\beta_S = 19,25$ %); б – влияние начальной температуры обжига при $V = 0,048$ м/с, $d = 8,5$ мм, $\beta_S = 2,97$ % (\diamond – 370 °С, \square – 400 °С, Δ – 420 °С, \circ – 440 °С, \times – 460 °С); в – влияние расхода воздуха при $\beta_S = 2,97$ %, $t = 400$ °С и $d = 8,5$ мм (\diamond – 0,016 м/с, \square – 0,032 м/с, Δ – 0,048 м/с, \times – 0,064 м/с, \circ – 0,0796 м/с); г – влияние размера гранул при $t = 400$ °С, $\beta_S = 2,97$ % и $V = 0,048$ м/с (\times – 12 мм, \circ – 8,5 мм, \diamond – 5 мм). Пунктиром выделена заданная температура воздуха

воздуха. Изменение расхода воздуха и размера гранул влияет на перегрев навески незначительно.

Обработка результатов эксперимента по выявлению более детального влияния факторов на максимальную температуру обжига (t_{max}) и максимальную продолжительность обжига (τ_{max}) представлены на рис. 2, 3.

Значимость частных зависимостей определяли по коэффициенту нелинейной множественной корреляции R и его значимости t_R [6, 7] (табл. 2).

Полученные уравнения для максимальной температуры окислительно-сульфатизирующего обжига с учетом значимых функций для описания совокупности действующих факторов обобщаются согласно [5] в виде их произведения с нормировкой по центральному экспериментальному значению 488,05 °С. Обобщенное уравнение примет вид

$$t_{max} = 4,202 \cdot 10^{-6} (9,6062\beta_S + 448,59) \times (1,1107t_B + 37,746)(-5,0d + 547,5). \quad (1)$$

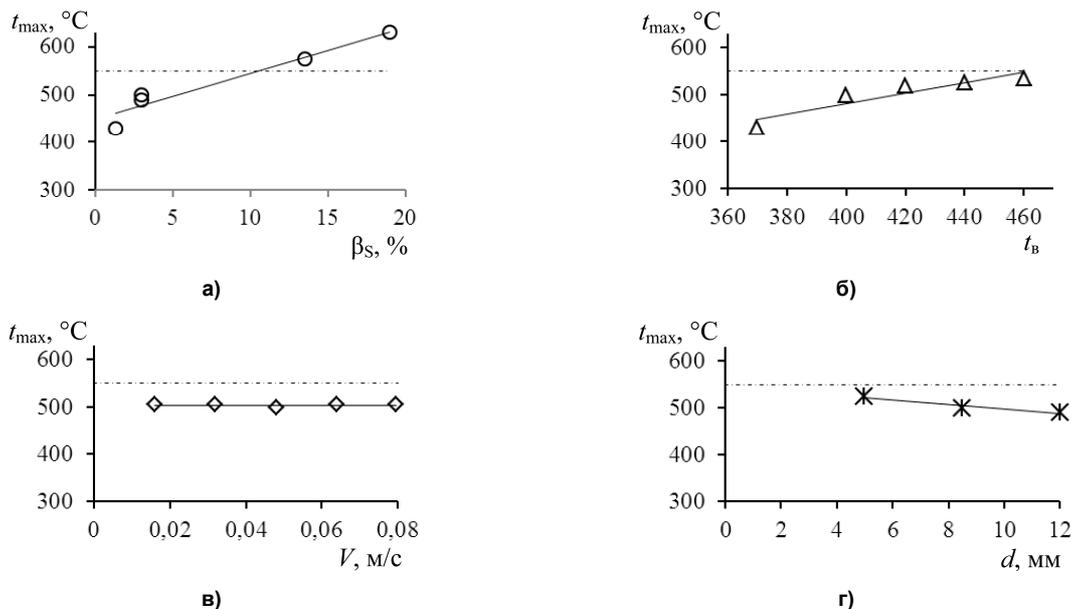


Рис. 2. Влияние различных факторов на максимальную температуру окислительно-сульфатизирующего обжига гранулированного черного медного сульфидного концентрата: а – содержания серы в концентрате; б – заданной температуры воздуха; в – расхода воздуха; г – размера гранул; пунктиром выделена допустимая температура обжига 550 °С

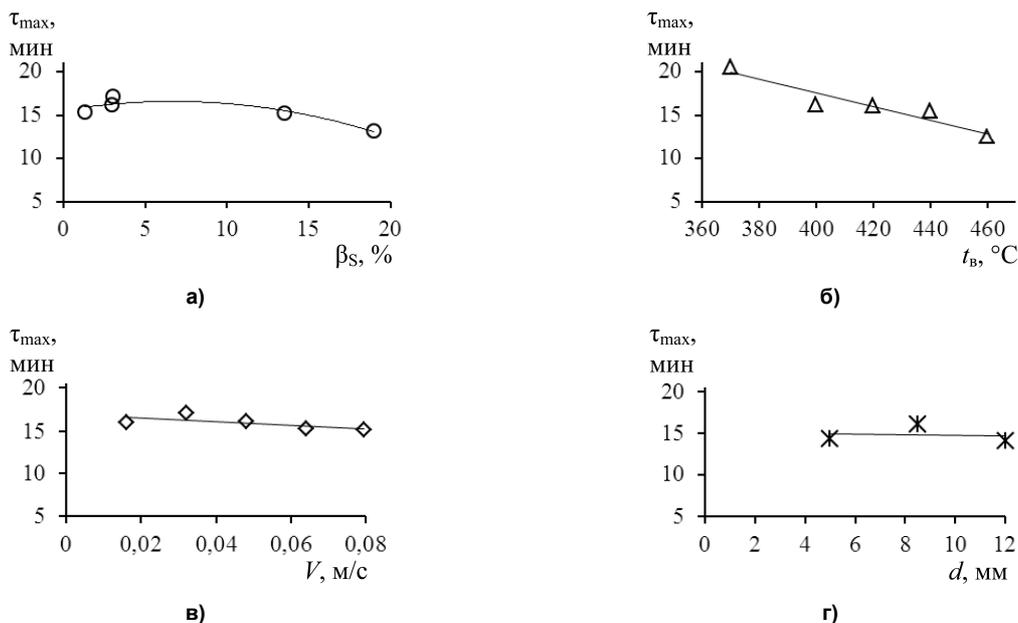


Рис. 3. Влияние различных факторов на продолжительность достижения максимальной температуры окислительно-сульфатизирующего обжига гранулированного черного медного сульфидного концентрата: а – содержания серы в концентрате; б – заданной температуры воздуха; в – расхода воздуха; г – размера гранул

Таблица 2

Частные функции максимальной температуры окислительно-сульфатизирующего обжига с определением коэффициента нелинейной множественной корреляции R и его значимости t_R

Функции	R	Условие $t_R > 2$
$t_{\max} = 9,6062\beta_S + 448,59$	0,9536	18,21 > 2
$t_{\max} = 1,1107t_B + 37,746$	0,8902	7,426 > 2
$t_{\max} = -0,1578V + 504,01$	0,0003	0 < 2
$t_{\max} = -5,0d + 547,5$	0,9405	8,151 > 2

При сопоставлении результатов эксперимента и расчета получены значения $R=0,92$ и $t_R=20,51 > 2$, что подтверждает адекватность описания данных эксперимента настоящим уравнением.

При условиях центрального эксперимента содержание серы свыше 10 % приводит к превышению допустимой температуры обжига. Остальные факторы этот предел не превышают. Повышение заданной температуры воздуха закономерно увеличивает максимальную температуру обжига, а крупность гранул – столь же закономерно ее понижает из-за влияния внутридиффузионных затруднений. Скорость воздуха оказалась незначимым фактором, вероятно, вследствие протекания реакции с лимитированием не внешней (газовой), а внутренней диффузией.

Представленное обобщенное уравнение позволяет выявить совместное влияние действующих факторов. При этом непревышение допустимой температуры обжига может быть обеспечено множеством комбинаций задаваемых уровней, а не только тем, что было использовано при проведении эксперимента при центральных условиях. Это можно показать с помощью многофакторной номограммы [5], которая приведена в табл. 3.

Как видно из номограммы, непревышение допустимой температуры обжига может быть обеспечено при содержании серы даже больше 10 % за счет понижения температуры воздуха и при работе на более крупных гранулах. Но при $t_B = 500$ °С оптимальная температура превышает при любых условиях. В любом случае данная номограмма может быть использована для управления процессом обжига в реальных условиях, с коррекцией действующих факторов в зависимости от их изменения по технологическим причинам. Особенно важно иметь ввиду обширные области превышения оптимальной температуры 550 °С, а тем более спекания гранул выше 650 °С.

В ходе экспериментов одновременно фиксировалась и продолжительность достижения максимальной температуры обжига τ_{\max} . Результаты представлены на рис. 3.

Полученные уравнения для τ_{\max} , с учетом значимых функций аналогично уравнению (1) обобщаются в виде их произведения (среднее расчет-

ное значение 16,57 мин). Обобщенное уравнение примет вид

$$\tau_{\max} = 3,65 \cdot 10^{-3} (-0,0229\beta_S^2 + 0,3069\beta_S + 15,536) \times (48,383 - 0,0771t_B)(16,991 - 22,098V). \quad (2)$$

Полученное уравнение (2) с коэффициентом нелинейной множественной корреляции $R=0,8368$ и ее значимости $t_R=10,06 > 2$ может быть использовано для теоретического анализа скорости процесса.

Продолжительность достижения максимальной температуры в слое определяется противоположным влиянием скорости окисления, которая способствует уменьшению этого времени, и величиной максимальной температуры, которая требует повышения затраты времени. От них зависит форма зависимости от исследуемых факторов.

Так, увеличение содержания серы на фоне возрастания температуры пика (см. рис. 2, а) сопровождается в общем компенсированным влиянием скорости окисления и величины пика с постепенным переходом на преобладание скорости окисления и уменьшение продолжительности достижения пиковой температуры.

При повышении заданной температуры воздуха эта картина выявляется ярче, что обусловлено дополнительным ускорением окисления от подвода тепла и относительно меньшими температурами пика (см. рис. 2, б) в сравнении с влиянием содержания серы. В результате время достижения температуры равномерно понижается.

Скорость подачи воздуха и диаметр гранул, будучи слабо действующими факторами (см. рис. 3, в и 3, г), оказываются малозначимыми.

Время достижения пика находится в довольно узких пределах, 10–20 мин (см. рис. 1), в среднем составляя около 15 мин.

Исходя из подобия кривых перегрева навески и кривых ДТА, имеется возможность по формуле, приведенной в [8] найти энергию активации процесса, комбинируя частные зависимости от воздействия заданной температуры воздуха на t_{\max} и τ_{\max} :

$$t_{\max} = 1,1107t_B + 37,746, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (3)$$

$$\tau_{\max} = -0,0771t_B + 48,383, \text{ мин.} \quad (4)$$

Формула в [8] имеет вид

$$\frac{1}{T_{\max}} = A - \frac{R}{E} \ln v, \quad (5)$$

где T_{\max} – температура максимума, К; A – константа, K^{-1} ; R – газовая постоянная, Дж/(моль·К);

E – энергия активации процесса, Дж/моль, v – скорость нагревания, К/с.

Таблица 3

Многофакторная номограмма по влиянию содержания серы, температуры воздуха и крупности гранул на максимальную температуру обжига. Выделены значения, превышающие оптимальную температуру сульфатизации 550 °С (полужирный шрифт) и превышающие температуру начала спекания 650 °С (курсив)

t_b	d , мм	t_{\max} при β_s , %									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
360	4	453,7	472,4	491	509,7	528,3	546,9	565,6	584,2	602,8	621,5
	6	445,1	463,4	481,7	500,0	518,3	536,6	554,8	573,1	591,4	609,7
	8	436,5	454,5	472,4	490,3	508,3	526,2	544,1	562,0	580	597,9
	10	427,9	445,5	463,1	480,7	498,2	515,8	533,4	551,0	568,5	586,1
	12	419,3	436,6	453,8	471,0	488,2	505,5	522,7	539,9	557,1	574,3
	14	410,7	427,6	444,5	461,3	478,2	495,1	512,0	528,8	545,7	562,6
380	4	476,8	496,4	515,9	535,5	555,1	574,7	594,3	613,9	633,4	<i>653</i>
	6	467,7	487,0	506,2	525,4	544,6	563,8	583	602,2	621,4	640,6
	8	458,7	477,5	496,4	515,2	534,1	552,9	571,7	590,6	609,4	628,3
	10	449,7	468,1	486,6	505,1	523,5	542,0	560,5	578,9	597,4	615,9
	12	440,6	458,7	476,8	494,9	513	531,1	549,2	567,3	585,4	603,5
	14	431,6	449,3	467	484,8	502,5	520,2	537,9	555,7	573,4	591,1
400	4	499,8	520,3	540,9	561,4	581,9	602,5	623	643,5	<i>664,0</i>	<i>684,6</i>
	6	490,3	510,5	530,6	550,8	570,9	591	611,2	631,3	<i>651,4</i>	<i>671,6</i>
	8	480,9	500,6	520,4	540,1	559,9	579,6	599,4	619,1	638,9	<i>658,6</i>
	10	471,4	490,8	510,1	529,5	548,8	568,2	587,6	606,9	626,3	645,6
	12	461,9	480,9	499,9	518,8	537,8	556,8	575,7	594,7	613,7	632,7
	14	452,4	471,0	489,6	508,2	526,8	545,3	563,9	582,5	601,1	619,7
420	4	522,9	544,3	565,8	587,3	608,7	630,2	<i>651,7</i>	<i>673,2</i>	<i>694,6</i>	<i>716,1</i>
	6	512,9	534,0	555,1	576,1	597,2	618,3	639,3	<i>660,4</i>	<i>681,5</i>	<i>702,5</i>
	8	503	523,7	544,3	565,0	585,7	606,3	627,0	647,6	<i>668,3</i>	<i>689,0</i>
	10	493,1	513,4	533,6	553,9	574,1	594,4	614,6	634,9	<i>655,1</i>	<i>675,4</i>
	12	483,2	503,0	522,9	542,7	562,6	582,4	602,3	622,1	642	<i>661,8</i>
	14	473,3	492,7	512,2	531,6	551	570,5	589,9	609,4	628,8	648,2
440	4	545,9	568,3	590,7	613,1	635,6	<i>658,0</i>	<i>680,4</i>	<i>702,8</i>	<i>725,2</i>	<i>747,7</i>
	6	535,5	557,5	579,5	601,5	623,5	645,5	<i>667,5</i>	<i>689,5</i>	<i>711,5</i>	<i>733,5</i>
	8	525,2	546,8	568,3	589,9	611,5	633,0	<i>654,6</i>	<i>676,2</i>	<i>697,7</i>	<i>719,3</i>
	10	514,8	536,0	557,1	578,3	599,4	620,6	641,7	<i>662,8</i>	<i>684</i>	<i>705,1</i>
	12	504,5	525,2	545,9	566,6	587,4	608,1	628,8	649,5	<i>670,2</i>	<i>691</i>
	14	494,1	514,4	534,7	555,0	575,3	595,6	615,9	636,2	<i>656,5</i>	<i>676,8</i>
460	4	568,9	592,3	615,6	639,0	<i>662,4</i>	<i>685,7</i>	<i>709,1</i>	<i>732,5</i>	<i>755,8</i>	<i>779,2</i>
	6	558,1	581,1	604,0	626,9	649,8	<i>672,7</i>	<i>695,7</i>	<i>718,6</i>	<i>741,5</i>	<i>764,4</i>
	8	547,3	569,8	592,3	614,8	637,3	<i>659,7</i>	<i>682,2</i>	<i>704,7</i>	<i>727,2</i>	<i>749,7</i>
	10	536,6	558,6	580,6	602,7	624,7	646,7	<i>668,8</i>	<i>690,8</i>	<i>712,9</i>	<i>734,9</i>
	12	525,8	547,4	569	590,6	612,2	633,7	<i>655,3</i>	<i>676,9</i>	<i>698,5</i>	<i>720,1</i>
	14	515,0	536,1	557,3	578,4	599,6	620,7	641,9	<i>663,0</i>	<i>684,2</i>	<i>705,3</i>
480	4	592,0	616,3	640,6	<i>664,9</i>	<i>689,2</i>	<i>713,5</i>	<i>737,8</i>	<i>762,1</i>	<i>786,4</i>	<i>810,8</i>
	6	580,7	604,6	628,4	652,3	<i>676,1</i>	<i>700,0</i>	<i>723,8</i>	<i>747,7</i>	<i>771,5</i>	<i>795,4</i>
	8	569,5	592,9	616,3	639,7	<i>663,1</i>	<i>686,5</i>	<i>709,8</i>	<i>733,2</i>	<i>756,6</i>	<i>780,0</i>
	10	558,3	581,2	604,1	627,1	650,0	<i>672,9</i>	<i>695,9</i>	<i>718,8</i>	<i>741,7</i>	<i>764,6</i>
	12	547,1	569,5	592,0	614,5	636,9	<i>659,4</i>	<i>681,9</i>	<i>704,3</i>	<i>726,8</i>	<i>749,3</i>
	14	535,8	557,9	579,9	601,9	623,9	645,9	<i>667,9</i>	<i>689,9</i>	<i>711,9</i>	<i>733,9</i>

Исходные данные для расчета энергии активации на основе формулы (6)

$t_b, ^\circ\text{C}$	$t_{\max} - t_0, ^\circ\text{C}$	τ_{\max}	$1/T_{\max}, \text{K}^{-1}$	В		ln v
				$^\circ\text{C}/\text{мин}$	К/с	
370	389	19,856	$1,386 \cdot 10^{-3}$	19,591	0,326	-1,1193
400	422	17,543	$1,325 \cdot 10^{-3}$	24,055	0,401	-0,9140
420	444	16,001	$1,287 \cdot 10^{-3}$	27,748	0,462	-0,7712
440	466	14,459	$1,251 \cdot 10^{-3}$	32,229	0,537	-0,6215
460	489	12,917	$1,217 \cdot 10^{-3}$	37,857	0,631	-0,4605

По зависимостям (3) и (4) можно определить скорость нагревания v , необходимую для использования формулы (5), путем деления первой зависимости (3) на вторую (4) с учетом начальной температуры ячейки, в которую перед началом опыта помещались гранулы, $t_0 = 60 ^\circ\text{C}$:

$$v = \frac{t_{\max} - t_0}{\tau_{\max}} = \frac{(1,1107t_b + 37,746) - 60}{48,383 - 0,0771t_b}, ^\circ\text{C}/\text{мин}. \quad (6)$$

Результаты расчета приведены в табл. 4.

Построение этих данных в координатах $1/T_{\max} - \ln v$ позволило выявить их линейное расположение (рис. 4) и возможность обработки на уравнение прямой методом наименьших квадратов, при $y = 1/T_{\max}$, $x = \ln v$, $c = A$, $a = -R/E$. При этом из значения a получена величина энергии активации $E = 16\,626 \text{ Дж/моль} = 16,626 \text{ кДж/моль}$, которая свидетельствует о лимитировании процесса внутренней диффузией [9].

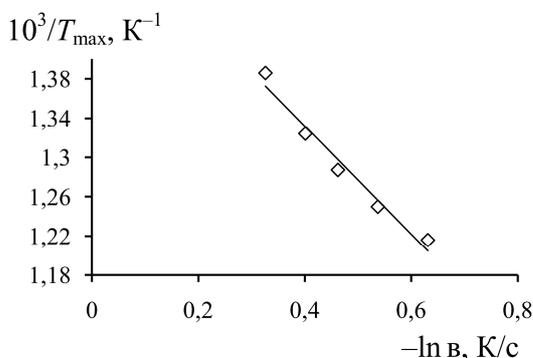


Рис. 4. Линеаризованная зависимость по формуле (5): T_{\max} – температура максимума, v – скорость нагревания навески до T_{\max}

Выводы

1. С целью выявления влияния температуры воздуха и его скорости фильтрации через навеску, размера гранул, содержания серы и влажности гранул на максимальную температуру в навеске обжига, время достижения этой температуры впервые проведены многофакторные эксперименты по окислительно-сульфатизирующему обжигу черновых медносульфидных концентратов и получены соответствующие математические модели этих процессов.

Полученные многофакторные модели использованы для определения оптимальных областей

проведения обжига с точки зрения попадания в зону допустимых температур по условиям недопущения спекания материала, а также по условиям сохранения образующихся сульфатов.

Как видно из номограммы, непревышение допустимой температуры обжига может быть обеспечено при содержании серы даже больше 10 % за счет понижения температуры воздуха и при работе на более крупных гранулах. Но при $t_b 500 ^\circ\text{C}$ оптимальная температура превышает при любых условиях. В любом случае данная номограмма может быть использована для управления процессом обжига в реальных условиях, с коррекцией действующих факторов в зависимости от их изменения по технологическим причинам.

2. Впервые политермы обжига, полученные в результате многофакторных экспериментов, использованы по подобию с методом обработки данных ДТА по [8] для определения энергии активации процессов обжига. Полученная величина (16,626 кДж/моль) указывает на лимитирование процесса внутренней диффузией газообразных реагентов через слой образующихся сульфатов.

Литература

- Смирнов, В.И. Обжиг медных руд и концентратов / В.И. Смирнов, А.И. Тихонов. – Свердловск: Metallurgizdat, 1958. – 280 с.
- Саргсян, Л.Е. Обжиг сульфидно-цинкового концентрата с получением преимущественно сульфатного огарка для эффективного выщелачивания / Л.Е. Саргсян, А.М. Оганесян // Цветные металлы. – 2006. – № 7. – С. 16.
- Оптимизация процесса обжига некондиционных медных сульфидных концентратов / Л.М. Каримова, К.Ж. Жумашев, В.П. Малышев, Е.Т. Кайралапов // КИМС. – 2011. – № 2 (275). – С. 56–67.
- Каримова, Л.М. Сульфатизирующий обжиг чернового медносульфидного концентрата для серно-кислотного выщелачивания / Л.М. Каримова // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2014. – № 3 (47). – С. 15–21.
- Малышев, В.П. Кинетический и технологический анализ обобщающих математических моделей химико-металлургических процессов / В.П. Малышев // Доклады Национальной академии наук РК. – 2008. – № 2. – С. 13–18.

6. Дукарский, О.М. Статистический анализ и обработка данных на ЭВМ «Минск-22» / О.М. Дукарский, А.Г. Закурдаев. – М.: Статистика, 1971. – 179 с.

7. Сиськов, В.И. Корреляционный анализ в экономических исследованиях / В.И. Сиськов. – М.: Статистика, 1975. – 168 с.

8. Букетов, Е.А. Технологические процессы шахтного обжига в цветной металлургии / Е.А. Букетов, В.П. Малышев. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1973. – 350 с.

9. Эммануэль, Н.М. Курс химической кинетики / Н.М. Эммануэль, Д.Г. Кнорре. – М.: Высшая школа, 1974. – 400 с.

Каримова Люция Монировна, канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник, ТОО «Инновация», г. Караганда, Казахстан; lutsia.08@mail.ru.

Кайралапов Ерлан Токпаевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ТОО «Инновация», г. Караганда, Казахстан; kairalapov.e@mail.ru.

Поступила в редакцию 28 декабря 2015 г.

DOI: 10.14529/met160104

INVESTIGATIONS OF MAXIMUM USE CONDITIONS OF CHEMICAL REACTIONS HEAT AT SULPHATIZING ROASTING OF ROUGH COPPER SULPHIDE CONCENTRATE

L.M. Karimova, lutsia.08@mail.ru,
E.T. Kairalapov, kairalapov.e@mail.ru
LLC “Innovatsiya”, Karaganda, Kazakhstan

The paper describes the results of multifactorial experiments of roughing granulated copper sulphide concentrates on the influence of the sulfur content in the concentrate, specified air temperature, the granule size, the air flow on the study of conditions of the maximum use of the chemical reactions heat in the sulphatization roasting process. Mathematical models are received, which are used to determine the roasting optimal area from the point of view of getting into the zone under the terms of allowable temperature to avoid sintering material as well as the terms of preservation of the sulfates image. It is found that not exceeding admissible calcining temperature can be achieved even if the sulfur content is greater than 10 % due to the temperature decrease and the use of larger granules. But at an air temperature of 500 °C the optimum temperature is exceeded at any circumstances. The apparent activation energy calculated from the DTA data amounted to 27.714 kJ/mol and shows that the process is controlled by internal diffusion of gaseous reactants through the bed of formed sulfates.

Keywords: copper concentrate; roasting sulphatization; generalized equation; optimum temperature.

References

1. Smirnov V.I., Tikhonov A.I. *Obzhig mednykh rud i kontsentratov* [Roasting of Copper Ores and Concentrates]. Sverdlovsk, Metallurgiya Publ., 1958. 280 p.
2. Sargsyan L.E., Oganesyanyan A.M. [Roasting of Sulfide Zinc Concentrate Producing Mainly Roasted Sulfate Products for Efficient Leaching]. *Tsvetnye metally*, 2006, no. 7, pp. 16. (in Russ.)
3. Karimova L.M., Zhumashev K.Zh., Malyshev V.P., Kayralapov Y.T. [Optimization of Roasting Off-Grade Copper Sulfide Concentrates]. *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya*, 2011, no. 2, pp. 56–67. (in Russ.)
4. Karimova L.M. [Sulphatizing Roasting of a Rough Copper Sulfide Concentrate for Sulfuric Acid Leaching]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2014, no. 3, pp.15–21. (in Russ.)
5. Malyshev V.P. [Kinetic Analysis of the Technological and Generalizing Mathematical Models of Chemical and Metallurgical Processes]. *Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 2008, no. 2, pp.13–18. (in Russ.)
6. Dukarskiy O.M., Zakurdaev A.G. *Statisticheskiy analiz i obrabotka dannykh na EVM “Minsk-22”* [Statistical Analysis and Data Processing on a Computer “Minsk-22”]. Moscow, Statistika Publ., 1971. 179 p.

7. Sis'kov V.I. *Korrelyatsionnyy analiz v ekonomicheskikh issledovaniyakh* [Correlation Analysis in Economic Research]. Moscow, Statistika Publ., 1975. 168 p.

8. Buketov E.A., Malyshev V.P. *Tekhnologicheskie protsessy shakhtnogo obzhiga v tsvetnoy metallurgii* [Processes Mine Roasting in Non-Ferrous Metallurgy]. Almaty, Kazakh SSR Science Publ., 1973. 350 p.

9. Emmanuel' N.M., Knorre D.G. *Kurs khimicheskoy kinetiki* [The Course of Chemical Kinetics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1974. 400 p.

Received 28 December 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Каримова, Л.М. Исследование условий максимального использования тепла химических реакций при сульфатизирующем обжиге чернового медного сульфидного концентрата / Л.М. Каримова, Е.Т. Кайраларов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 33–40. DOI: 10.14529/met160104

FOR CITATION

Karimova L.M., Kayralapov E.T. Investigations of Maximum Use Conditions of Chemical Reactions Heat at Sulphatizing Roasting of Rough Copper Sulphide Concentrate. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 1, pp. 33–40. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160104
