

- ings of the International Scientific and Practical Conference]. Ekaterinburg, 2006, pp. 114-117.
17. Degodia E. Yu., Bakhareva O. Yu., Zaguzina A. A. The study of the adsorption and flotation activity of various modifications of fluorite. *Molodezh'. Nauka. Budushhee: sbornik nauchnykh trudov* [Youth. Science. Future: Collection of scientific papers]. Magnitogorsk, 2006, no. 6, pp. 315-317.
 18. Chizhevsky V. B., Degodia E. Yu. The increase in the selectivity of cleaning operations by steaming carbonate-fluorite ores of the Suranskoe field. *Gornyj informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. Moscow: Moscow State Mining University, 2006, no. 2, pp. 390-392.
 19. Solozhenkin P. M. Molecular design of flotation reagents, which are efficient in flotation of non-sulphide ores. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 2008, no. 12, pp. 28-33.

Соложенкин П.М., Дегодя Е.Ю., Шавакулева О.П. Модифицированные жирные кислоты, их молекулярное моделирование для прогноза флотации руд щелочноземельных элементов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №3. С. 16–22.

Solozhenkin P.M., Degodia E.Yu., Shavakuleva O.P. Modified fatty acids, their molecular modelling for the forecast of flotation of ores of alkaline-earth elements. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 3, pp. 16–22.

УДК 669.337

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ САМОПРОИЗВОЛЬНОГО ДОСТИЖЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ХЛОРИРУЮЩЕГО ОБЖИГА ЧЕРНОВОГО МЕДНОСУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Каримова Л.М., Кайралапов Е.Т.

ТОО «Инновация», Караганда, Казахстан

Аннотация. Проведены многофакторные эксперименты по окислительно-хлорирующему обжигу гранулированных черновых медных сульфидных концентратов с целью выявления влияния температуры воздуха и скорости фильтрации воздуха через навеску, размера гранул, содержания серы и влажности гранул на максимальную температуру обжига. Получены математические модели, которые использованы для определения оптимальных областей проведения обжига и расчета кажущейся энергии активации методом Киссенгера.

Ключевые слова: гранулы, окислительно-хлорирующий обжиг, шахтная печь, многофакторная модель, графическая зависимость, диффузионный режим.

Введение

В работах [1–3] практическое осуществление низкотемпературного окислительно-хлорирующего обжига рассмотрено на сульфидных медных концентратах с добавлением NaCl и KCl в муфельных печах или во вращающих трубчатых печах на дисперсной шихте.

Известно, что технология обжига медных сульфидных концентратов в смеси с хлоридом натрия (галит) идет в присутствии кислорода воздуха с выделением тепла и частичным переходом серы из сульфида железа (пирита) в газовую фазу в виде сернистого ангидрида [4]. Поэтому для ее проведения требуется обеспечить контакт частиц концентрата с галитом и доступ кислорода при непрерывном движении смеси.

Новые возможности для работы всех современных обжиговых печей предоставляет окатывание шихты с получением гранулированного материала, в котором частицы шихты находятся в

наилучшем контакте в составе каждой гранулы. Однако размер гранул, выходящих из промышленных грануляторов, отличается широкой фракцией от 2–3 до 18–20 мм. В трубчатых печах такие гранулы частично разрушаются при пересыпании, как в мельницах, самоизмельчение и пылеунос остается на том же уровне. В печах КС тонкие фракции гранул выносятся с газовым потоком, а крупные оседают на подине газораспределительной решетки, приводя к необходимости ее чистки. Кроме того, гранулы среднего класса растрескиваются с образованием до 30–40% мелких осколков и они выносятся из печи с отходящими газами. Поэтому наилучшими обжиговыми аппаратами для гранулированных материалов являются шахтные печи. В них гранулированный материал находится в состоянии плотного слоя, через который подаваемый газ (воздух) фильтруется и обеспечивает наибольшую скорость химических реакций и наиболее полный теплообмен материала с газом. Слой опускается в шахте только под действием силы тяжести за счет

работы узла разгрузки по шахте в виде тарельчатого или лоткового питателя. В наиболее известной конструкции шахтной печи воздух или топочные газы подаются через боковые фурмы.

В работе [5] предложена шахтная печь с каскадом наклонных решеток, по которым материал пересыпается с одной на другую, меняя направление и тем самым перемешиваясь по всей поверхности решеток, а газы подводятся через беспробивные распределительные решетки специальной конструкции. С этой целью проведено изучение перегрева шихты за счет химических реакций при хлорирующем обжиге черного медносульфидного концентрата и необходимостью выбора обжигового агрегата для обеспечения экзотермических температурных условий хлорирования концентрата.

Материалы и результаты исследований

Концентрат шихтовали с галитом (NaCl) – 10% от массы и в качестве связующего использовали раствор NaCl [6, 7]. Шихта подвергалась окатыванию на лабораторном грануляторе с диаметром чаши 0,6 м, высотой борта 15 см при скорости вращения 20 об/мин и подаче связующего разбрызгиванием. Фракции гранул необходимого размера отсеивали на ситах. Химический состав исследуемых концентратов представлен в табл. 1.

Таблица 1
Содержание основных компонентов в концентрате, %

Cu	S	Fe
0,8	1,0	5,04
3,91	2,95	4,69
4,73	2,97	5,46
5,38	4,87	7,82

Лабораторные исследования проводили в шахтной электропечи, имеющей реактор из кварцевой трубки диаметром 40 мм. Вовнутрь реактора помещали корзинку с влажными гранулами, в середине гранул и снизу корзины находились термодпары. Воздух подавали с температурой от 370 до 500°C. Рост температуры за счет выделения тепла химических реакций фиксировали по времени с одновременным определением максимально достигнутой температуры. Прекращение эксперимента осуществлялось по мере снижения температуры навески до начальной заданной температуры воздуха. Эксперименты проводили путем последовательного изучения действующих факторов методом Зейделя-Гаусса-Мальшева [8, 9]. Изучали влияние содержания серы в концентрате β_s , %; заданной температуры воздуха $t_{в.}$, °C, размера гранул d , мм, расхода воздуха V , м/с, на экзотермичность процесса обжига или на температуру навески

процесса хлорирующего обжига с понижением до заданной температуры воздуха. В результате фиксировалась зависимость температуры навески по продолжительности обжига при воздействии той или иной комбинации учитываемых факторов. Такие зависимости соответствуют кривым нагревания, регистрируемым при дифференциально-термическом анализе, но в данном случае на более крупной навеске и при более широкой вариации условий обжига.

Результаты экспериментов по экзотермическому хлорирующему обжигу медного сульфидного концентрата гранулированного раствором NaCl приведены на рис. 1.

Как показано на рис. 1, температура пика больше всего зависит от заданной температуры воздуха (рис. 1, б), и увеличение ее приводит к повышению максимальной температуры. Эти данные были использованы для определения энергии активации процесса по подобию с обработкой данных также неизотермических процессов, фиксируемых ДТА – анализом по методу Киссингера [10, 11]:

$$\frac{1}{T_m} = A - \frac{R}{E} \ln v,$$

где T_m – температура пика, К; v – скорость нагревания, град/с; R – газовая постоянная; A – константа.

Скорость нагревания по данным рис. 1, б определяли по псевдопрямолинейным восходящим участкам графических зависимостей слева от максимума. С этой целью для каждой зависимости выбраны следующие участки.

Для $t_{гозд} = 370^\circ\text{C}$ от 6,56 до 9,12 мин с температурой от 220 до 400°C. Скорость нагревания составила $v = (320-220)/(9,12-6,56) = 39,062^\circ\text{C}/\text{мин} = 0,6510^\circ\text{C}/\text{с}$. $T_m = 425^\circ\text{C} = 698\text{ K}$.

Для $t_{гозд} = 400^\circ\text{C}$ от 5,26 до 8,23 мин с температурой от 240 до 380°C. Скорость нагревания составила $v = (380-240)/(8,23-5,26) = 47,138^\circ\text{C}/\text{мин} = 0,7856^\circ\text{C}/\text{с}$. $T_m = 490^\circ\text{C} = 763\text{ K}$.

Для $t_{гозд} = 440^\circ\text{C}$ от 4,4 до 8,15 мин с температурой от 280 до 460°C. Скорость нагревания составила $v = (460-280)/(8,15-4,4) = 48,0^\circ\text{C}/\text{мин} = 0,8^\circ\text{C}/\text{с}$. $T_m = 515^\circ\text{C} = 788\text{ K}$.

Для $t_{гозд} = 460^\circ\text{C}$ от 3,45 до 5,56 мин с температурой от 300 до 440°C. Скорость нагревания составила $v = (440-300)/(5,56-3,45) = 66,35^\circ\text{C}/\text{мин} = 1,1058^\circ\text{C}/\text{с}$. $T_m = 550^\circ\text{C} = 823\text{ K}$.

Для $t_{гозд} = 500^\circ\text{C}$ от 4,06 до 5,16 мин с температурой от 340 до 460°C. Скорость нагревания составила $v = (460-340)/(5,16-4,06) = 109,091^\circ\text{C}/\text{мин} = 1,8182^\circ\text{C}/\text{с}$. $T_m = 600^\circ\text{C} = 873\text{ K}$.

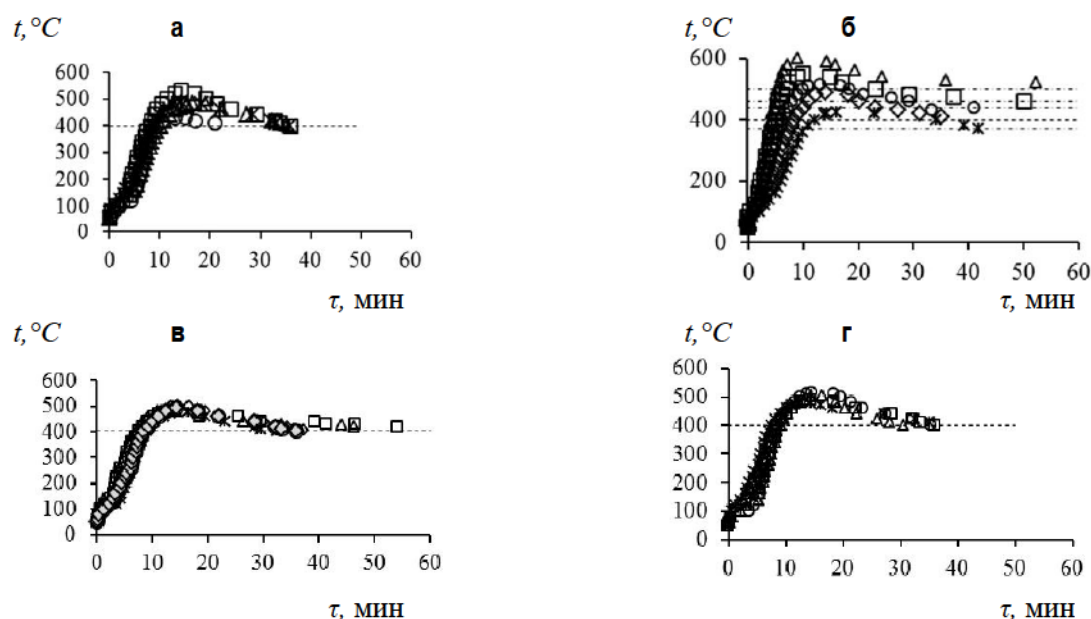


Рис. 1. Влияние различных факторов на экзотермичность процесса хлорирующего обжига гранулированного чернового медного сульфидного концентрата с галитом:

а – влияние содержания серы в концентрате при $t = 400^{\circ}\text{C}$, $V = 0,048 \text{ м/с}$, $d = 8 \text{ мм}$ (\circ – при содержании $\beta_{\text{S}} = 1,0\%$; \triangle – $\beta_{\text{S}} = 3,0\%$; $*$ – $\beta_{\text{S}} = 2,97\%$; \square – $\beta_{\text{S}} = 4,87\%$); б – влияние заданной температуры воздуха при $V = 0,048 \text{ м/с}$, $d = 8 \text{ мм}$; ($*$ – начальная температура воздуха 370°C ; \diamond – 400°C ; \circ – 440°C ; \square – 460°C ; \triangle – 500°C); в – влияние расхода воздуха при $t = 400^{\circ}\text{C}$, $V = 0,048 \text{ м/с}$; ($*$ – $0,016 \text{ м/с}$, \circ – $0,032 \text{ м/с}$, \diamond – $0,048 \text{ м/с}$, \triangle – $0,064 \text{ м/с}$, \square – $0,0796 \text{ м/с}$); г – влияние размера гранул; (\circ – размер гранул 4 мм ; \triangle – 6 мм ; \square – $8,5 \text{ мм}$; $*$ – 11 мм). Штриховая линия – заданная температура воздуха

Кажущаяся энергия активации составила $28,316 \text{ кДж/моль}$. Она свидетельствует о протекании процесса в диффузионном режиме и контролируется доступом кислорода воздуха вовнутрь гранулы.

Результаты обработки экспериментальных данных приведены на рис. 2. Из них следует, что наиболее сильно действующими факторами оказываются, как и следовало ожидать, содержание серы и заданная температура воздуха. Увеличение размера гранул также закономерно приводит к уменьшению температуры максимума, что согласуется с лимитированием процесса внутренней диффузией.

Значимость частных зависимостей

определяли по коэффициенту нелинейной множественной корреляции R и его значимости [9, 12, 13] t_R (табл. 2).

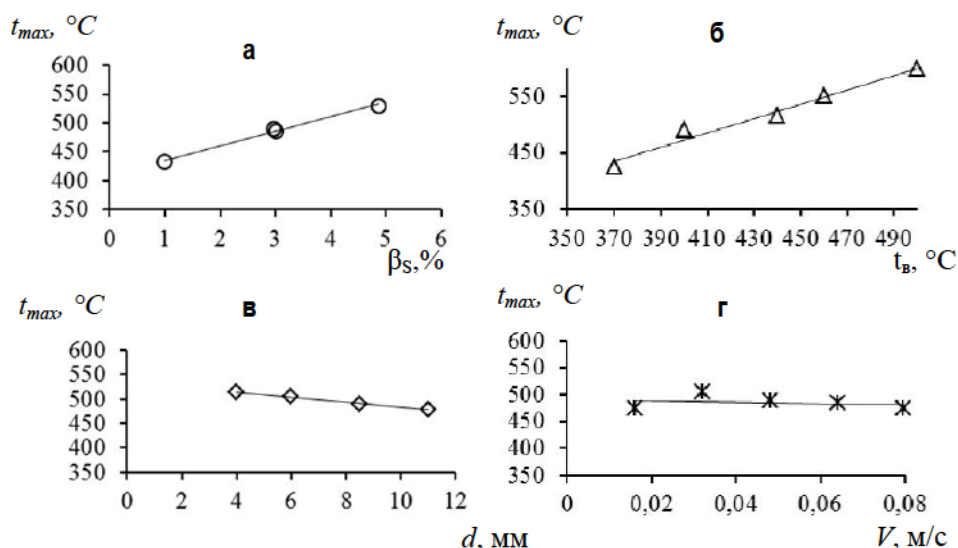


Рис. 2. Влияние различных факторов на максимальную температуру хлорирующего обжига гранулированного чернового медного сульфидного концентрата с галитом: а – содержания серы в концентрате; б – заданной температуры воздуха; в – размера гранул; г – расхода воздуха

Таблица 2
Частные функции максимальной температуры хлорирующего обжига с определением коэффициента R и его значимость t_R

Функции	R	Условие $t_R > 2$
$t_{\max} = 25,346\beta_S + 409,22$	0,9932	103,30 > 2
$t_{\max} = 1,272t_g - 36,172$	0,9818	47,11 > 2
$t_{\max} = -5,3634d + 536,56$	0,9986	490,80 > 2
$t_{\max} = -124,52V + 491,97$	0,0634	0 < 2

Полученные уравнения для максимальной температуры окислительно-хлорирующего обжига с учетом значимых функций (см. табл. 2) для описания совокупности действующих факторов обобщаются согласно [8, 9] в виде их произведения с нормировкой по центральному экспериментальному значению 482,7°C. Обобщенное уравнение примет вид

$$t_{\max} = 4,293 \cdot 10^{-6} (25,346\beta_S + 409,22) \times (1,272t_g - 36,172)(-5,3634d + 536,56).$$

При сопоставлении результатов эксперимента и расчета получены значения $R=0,9691$ и $t_R=52,76 > 2$, что подтверждает адекватность описания данных эксперимента настоящим уравнением.

Полученное обобщенное уравнение позволяет выявить совместное влияние действующих факторов с помощью многофакторной номограммы (табл. 3). При хлорирующем обжиге максимальная температура процесса ограничивается по условиям спекания гранул при температуре более 700°C [1–3]. Как отмечено в работе [2], для достижения высокой степени хлорирования в присутствии минерализатора необходимы повышенные температуры, но при этом велика вероятность выбросов сернистых газов в атмосферу.

В целом можно отметить, что ввиду отсутствия ограничений по полноте обжига вплоть до 700°C [2] область допустимых режимов оказалась более широкой. Вместе с тем абсолютные значения максимумов температуры при хлорирующем обжиге являются более высокими и при содержании серы более 8% могут достигать 900–1000°C.

Таблица 3
Многофакторная номограмма по влиянию на максимальную температуру хлорирующего обжига изученных действующих факторов. Выделены области по условию $t_{\max} > 650^\circ\text{C}$

t _в , °C	d, mm	β _в , %								
		1	2	3	4	5	6	8	10	12
360		405,4	429	452,7	476,3	500	523,6	570,9	618,2	665,5
	6	397	420,1	443,3	466,4	489,6	512,7	559	605,3	651,6
	8	388,5	411,2	433,8	456,5	479,1	501,8	547,1	592,4	637,8
	10	380,1	402,2	424,4	446,6	468,7	490,9	535,2	579,6	623,9
	12	371,6	393,3	415	436,7	458,3	480	523,4	566,7	610,1
	14	363,2	384,4	405,5	426,7	447,9	469,1	511,5	553,8	596,2
380	4	429,8	454,9	480	505,1	530,1	555,2	605,3	655,5	705,6
	6	420,9	445,4	470	494,5	519,1	543,6	592,7	641,8	690,9
	8	411,9	436	460	484	508,1	532,1	580,1	628,2	676,2
	10	403	426,5	450	473,5	497	520,5	567,5	614,5	661,5
	12	394	417	440	463	486	509	554,9	600,9	646,8
	14	385,1	407,6	430	452,5	474,9	497,4	542,3	587,2	632,2
400	4	454,3	480,8	507,3	533,8	560,3	586,8	639,8	692,8	745,8
	6	444,8	470,8	496,7	522,7	548,6	574,6	626,5	678,3	730,2
	8	435,4	460,8	486,2	511,6	537	562,3	613,1	663,9	714,7
	10	425,9	450,8	475,6	500,4	525,3	550,1	599,8	649,5	699,2
	12	416,5	440,7	465	489,3	513,6	537,9	586,5	635,1	683,6
	14	407	430,7	454,5	478,2	502	525,7	573,2	620,6	668,1
420	4	478,8	506,7	534,6	562,5	590,4	618,4	674,2	730,1	785,9
	6	468,8	496,1	523,5	550,8	578,2	605,5	660,2	714,9	769,5
	8	458,8	485,6	512,3	539,1	565,9	592,6	646,1	699,7	753,2
	10	448,8	475	501,2	527,4	553,6	579,7	632,1	684,5	736,8
	12	438,9	464,5	490,1	515,7	541,3	566,9	618,1	669,3	720,4
	14	428,9	453,9	478,9	504	529	554	604	654	704,1
440	4	503,2	532,6	561,9	591,3	620,6	650	708,7	767,4	826,1
	6	492,7	521,5	550,2	578,9	607,7	636,4	693,9	751,4	808,8
	8	482,2	510,4	538,5	566,6	594,8	622,9	679,1	735,4	791,6
	10	471,8	499,3	526,8	554,3	581,8	609,3	664,4	719,4	774,4
	12	461,3	488,2	515,1	542	568,9	595,8	649,6	703,4	757,2
	14	450,8	477,1	503,4	529,7	556	582,3	634,9	687,5	740

t _в , °C	d, мм	β _с , %								
		1	2	3	4	5	6	8	10	12
460	4	527,7	558,4	589,2	620	650,8	681,5	743,1	804,6	866,2
	6	516,7	546,8	576,9	607,1	637,2	667,3	727,6	787,9	848,2
	8	505,7	535,2	564,7	594,2	623,7	653,2	712,1	771,1	830,1
	10	494,7	523,5	552,4	581,3	610,1	639	696,7	754,4	812,1
	12	483,7	511,9	540,1	568,3	596,6	624,8	681,2	737,6	794
	14	472,7	500,3	527,9	555,4	583	610,6	665,7	720,9	776
500	4	576,6	610,2	643,8	677,5	711,1	744,7	812	879,2	946,5
	6	564,6	597,5	630,4	663,3	696,3	729,2	795,1	860,9	926,8
	8	552,6	584,8	617	649,2	681,5	713,7	778,1	842,6	907,1
	10	540,5	572,1	603,6	635,1	666,7	698,2	761,2	824,3	887,3
	12	528,5	559,4	590,2	621	651,8	682,7	744,3	806	867,6
	14	516,5	546,7	576,8	606,9	637	667,2	727,4	787,7	847,9
520	4	601	636,1	671,1	706,2	741,2	776,3	846,4	916,5	986,6
	6	588,5	622,8	657,2	691,5	725,8	760,1	828,8	897,4	966,1
	8	576	609,6	643,2	676,8	710,4	744	811,1	878,3	945,5
	10	563,5	596,3	629,2	662,1	694,9	727,8	793,5	859,3	925
	12	551	583,1	615,2	647,4	679,5	711,6	775,9	840,2	904,4
	14	538,4	569,8	601,2	632,7	664,1	695,5	758,3	821,1	883,9
540	4	625,5	662	698,4	734,9	771,4	807,9	880,8	953,8	1027
	6	612,4	648,2	683,9	719,6	755,3	791,1	862,5	933,9	1005
	8	599,4	634,4	669,3	704,3	739,3	774,2	844,2	914,1	984
	10	586,4	620,6	654,8	689	723,2	757,4	825,8	894,2	962,6
	12	573,4	606,8	640,3	673,7	707,1	740,6	807,5	874,3	941,2
	14	560,3	593	625,7	658,4	691,1	723,8	789,1	854,5	919,8

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 впервые проведены многофакторные эксперименты по окислительно-хлорирующему обжигу черновых медносульфидных концентратов и получены математические модели процесса, которые использованы для определения оптимальных областей проведения обжига с точки зрения попадания в зону допустимых температур по условиям недопущения спекания материала. При этом установлена возможность осуществления процесса в более широком диапазоне температур, 400–700°C.

2. Впервые политермы обжига, полученные в результате многофакторных экспериментов, использованы по подобию с методом обработки данных ДТА по Киссенгеру для определения энергии активации процессов обжига, которая составила 28,316 кДж/моль. Она свидетельствует о протекании процесса в диффузионном режиме [14] и контролируется доступом кислорода воздуха вовнутрь гранулы.

Список литературы

- Медведев А.С., Со Ту. Особенности электрохимических реакций, сопровождающих хлорирующий обжиг сульфидных медных концентратов // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2012. №3. С. 3–6.
- Медведев А.С., Со Ту, Хамхаш А., Птицын А.М. Вариант переработки сульфидного медного концентрата комбинированным способом // Цветные металлы. 2010. № 1. С. 33–36.
- Со Ту. Физико-химические основы комбинированного способа переработки сульфидного медного концентрата Удоканского месторождения: автореф. ... дис. канд. техн. наук. Москва, 2011. 25 с.
- Смирнов В.И., Тихонов А.И. Обжиг медных руд и концентратов. Свердловск: Metallurgizdat, 1958. 280 с.
- Инновационный патент РК №29308. Обжиговая шахтная печь для непрерывной сушки, обжига и охлаждения гранулированных материалов / Малышев В.П., Юн А.Б., Жумашев К.Ж., Ларинов В.А., Захарьян С.В., Каримова Л.М., Кайралыпов Е.Т., Чен В.А., Терентьева И.В., Назаренко И.А., Макашева А.М., Айбеков Н.Ж. // Бюл. № 12 от 15.12.2014.
- Комплексная переработка лежалых хвостов Жезказганской обогатительной фабрики / Юн А.Б., Захарьян С.В., Чен В.А., Каримова Л.М., Терентьева И.В. // Материалы Международной научной ассоциации «Science &Genesis». Копенгаген, 2014. С. 7–13.
- Yun A., Zakharyan S., Chen V., Terentyeva I., Karimova L. Granules strength and chloridizing roasting of tailing concentrate at Zhezkazgan concentrator // Chemical Engineering Journal, vol. 1, no. 2, September 2014, pp.1–7.
- Малышев В.П. Математическое описание результатов многофакторного эксперимента, проведенного по методу Зейделя-Гаусса // Вестник АН Каз ССР. 1978. №4. С. 31–38.
- Малышев В.П. Кинетический и технологический анализ обобщающих математических моделей химико-металлургических процессов // Доклады Национальной академии наук РК. 2008. №2. С. 13–18.
- Kissinger H.E. Кинетика реакций и ДТА // Analyt. Chem. 1957. V. 29. №11.
- Kissinger H.E. Изменение температурного пика в зависимости от скорости нагрева в ДТА // Nat.Bur.of Standards Res. 1956. V. 57. P. 2712.

12. Дукарский О.М., Закурдаев А.Г. Статистический анализ и обработка данных на ЭВМ «Минск-22». М.: Статистика, 1971. 179 с.
13. Сисков В.И. Корреляционный анализ в экономических исследованиях. М.: Статистика, 1975. 168 с.
14. Эммануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. М.: Высш. шк., 1974. 400 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DEPENDENCE OF SPONTANEOUS ACHIEVEMENT OF MAXIMUM CHLORIDIZING ROASTING TEMPERATURE OF ROUGH COPPER SULPHIDE CONCENTRATE

Karimova Lyutsiya Monirovna – Ph.D. (Chemistry), LLP Innovatsiya, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: lut-sia.08@mail.ru.

Kairalapov Yerlan Tokpaevich – Ph.D. (Eng.), Senior Researcher, LLP Innovatsiya, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: kairalapov.e@mail.ru.

Abstract. The authors conducted multifactorial experiments on oxidizing and chloridizing roasting of pelletized rough copper sulphide concentrates in order to identify the influence of air temperature and rate of filtration through a sample, the size of pellets, the sulphur content and pellet moisture on maximum roasting temperature. The mathematical models were developed to determine optimal areas of roasting and calculate the apparent activation energy by applying the Kissinger method.

Keywords: Pellets, oxidizing and chloridizing roasting, shaft furnace, multifactor model, graph, diffusion mode.

References

1. Medvedev A.S., So Tu. Features of electrochemical reactions accompanying the chloridizing roasting of sulphide copper concentrates. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [News of higher educational institutions. Non-ferrous metallurgy]. 2012, no. 3, pp. 3-6.
2. Medvedev A.S., So Tu, Khamkhash A., Ptitsyn A.M. An option of processing sulphide copper concentrate in a combined way. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 2010, no. 1, pp. 33-36.
3. So Tu. *Fiziko-khimicheskie osnovy kombinirovannogo sposoba pererabotki sulfidnogo mednogo koncentrata Udokanskogo mestorozhdeniya: avtoreferat ... dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Physical and chemical fundamentals of a combined processing method for sulphide copper concentrate of the Udokan deposit. Extended abstract of Ph.D. dissertation]. Moscow, 2011, 25 p.
4. Smirnov V.I., Tikhonov A.I. *Obzhig mednykh rud i koncentratov* [Roasting of copper ores and concentrates]. Sverdlovsk: Metallurgizdat, 1958, 280 p.
5. Malyshev V.P., Yun A.B., Zhumashev K.Zh., Larikov V.A., Zakharyan S.V., Karimova L.M., Kayralapov E.T., Chen V.A. Terentyeva I.V., Nazarenko I.A., Makasheva A.M., Aibekov N.Zh. A roasting shaft furnace for continuous drying, roasting and cooling of granular materials. Innovation patent of RK 29308. Bulletin No. 12 dated 15.12.2014.
6. Yun A.B., Zakharyan S.V., Chen V.A., Karimova L.M., Terentyeva I.V. An overall processing of old tailings at Zhezkazgan *Materi-aly Mezhdunarodnoj nauchnoj assotsiatsii «Science & Genesis»* [Dressing Plant. Proceedings of the International Scientific Association «Science & Genesis»]. Copenhagen, 2014, pp. 7-13.
7. Yun A.B., Zakharyan S.V., Chen V.A., Terentyeva I.V., Karimova L.M. Granules strength and chloridizing roasting of tailing concentrate at Zhezkazgan concentrator. *Chemical Engineering Journal*, vol. 1, no. 2, September 2014, pp. 1-7.
8. Malyshev V.P. A mathematical description of the results of multifactorial experiments conducted by the Gauss-Seidel method. *Vestnik AN Kaz SSR* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh Soviet Socialist Republic]. 1978, no. 4, pp. 31-38.
9. Malyshev V.P. A kinetic and technological analysis of generalized mathematical models of chemical and metallurgical processes. *Doklady Natsional'noj akademii nauk RK* [Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan]. 2008, no. 2, pp. 13-18.
10. Kissinger H.E. Reaction kinetics by DTA. *Analyt. Chem.* 1957, vol. 29, no. 11.
11. Kissinger H.E. Variation of peak temperature with heating rate in DTA. *Nat. Bur. of Standards Res.*, 1956, vol. 57, 2712 p.
12. Dukarsky O.M., Zakurdaev A.G. *Statisticheskij analiz i obrabotka dannykh na EHM «Minsk-22»* [Statistical analysis and data processing on the computer Minsk-22]. Moscow: Statistics, 1971, 179 p.
13. Siskov V.I. *Korrelyatsionnyj analiz v ehkonomicheskikh issledovaniyakh* [Correlation analysis in economic research]. Moscow: Statistics, 1975, 168 p.
14. Emmanuel N.M., Knorre D.G. *Kurs khimicheskoy kinetiki* [A course in chemical kinetics]. Moscow: Higher School, 1974, 400 p.

Каримова Л.М., Кайрапапов Е.Т. Изучение зависимости самопроизвольного достижения максимальной температуры хлорирующего обжига черноватого медносульфидного концентрата // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №3. С. 22–27.

Karimova L.M., Kairalapov Y.T. Dependence of spontaneous achievement of maximum chloridizing roasting temperature of rough copper sulphide concentrate. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 3, pp. 22–27.