

ГОЛИК В.И. (Северо-Кавказский государственный технологический университет, г. Владикавказ)

АКТИВАЦИЯ ОТХОДОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ МЕТАЛЛОВ

Дана справка об активации минералов в высокооборотистых механизмах. Описан процесс изменения энергетического состояния минералов в процессе механохимической активации в дезинтеграторе. Приведены сведения об эффективности обработки хвостов в сверхкритической барабанной мельнице с отражателем. Показано, что механоактивация хвостов позволяет существенно увеличить сквозное извлечение цинка, свинца и железа из некондиционного сырья, тем самым создавая условия для применения его в качестве строительных материалов. Предложена модель экономической оценки технологии утилизации хвостов.

Ключевые слова: хвосты переработки, дезинтегратор, механоактивация, металл, извлечение, закладочный материал.

Хвосты обогащения металлических руд являются ценным ресурсом, но утилизация их возможна только после извлечения оставшихся в них в результате технологического процесса после первичной переработки металлов [1–3].

Для объяснения феномена активации используют кинетические, структурные и другие представления. Глубокие изменения структуры веществ под действием больших нагрузок объясняют тем, что в результате фазовых переходов и химических превращений вещество превращается в смесь электронов и ионов, а в очагах высоких температур происходит термолиз, сопровождающийся физическими явлениями, такими как [4]:

- электризация вследствие разрыва электрического слоя;
- эмиссия электронов;
- образование свободных радикалов вследствие воздействия излучения;
- выделение газообразных продуктов.

Тонкое измельчение характеризуется избыточной энергией, разрывом химических связей, образованием точечных дефектов, дислокаций и т.п. По мере увеличения удельной поверхности усиливаются и физико-химические, и структурные изменения материала, которые определяются типом связи и структурой вещества, а также энергонасыщенностью процесса измельчения.

Активированные твердые вещества характеризуются термодинамической неустойчивостью вследствие нарушения стабильного расположения ионов, атомов, молекул и их группировок, в совокупности слагающих твердое тело. Минеральное тело характеризуется поверхностной энергией, или работой по перемещению внутренней частицы твердого тела на его поверхность. Частицы с избытком энергии формируют на поверхности твердого тела поверхностный слой, в котором энергия концентрируется. С увеличением твердости и дисперсности минералов поверхностная энергия возрастает.

Минимальная поверхностная энергия расходуется при диспергировании в жидких средах, содержащих поверхностно-активные вещества, а максимальная работа происходит при диспергировании в вакууме, в среде инертного газа или несмачивающей жидкости.

Скорость релаксации энергии возрастает с увеличением температуры, поэтому максимальное количество энергии аккумулируется при измельчении при низкой температуре.

К аппаратам ударного действия относятся дезинтеграторы, оснащенные двумя вращающимися встречно рабочими органами со стержнями-билами [5]. Измельчение и активация происходят одновременно вследствие многократных ударов бил по материалу.



Механоактивация осуществляется в рамках единого процесса с уменьшением крупности и усиливается за счет истирающего эффекта. Максимальный механохимический эффект обеспечивают активаторы с высокой частотой соударений мелющих тел.

Перспективным путем увеличения извлечения при выщелачивании является наращивание поверхностной энергии частиц обрабатываемого материала в процессе механоактивации.

Комбинированная активация в кислой среде при больших оборотах ротора в течение 60 мин увеличивает почти в два раза извлечение металлов из хвостов обогащения и металлургии.

Гидрометаллургический передел минерального сырья включает в себя сгущение продуктивных растворов, их химическую обработку, осаждение твердой фракции и извлечение металлов в химически чистом виде. Металлосодержащий конечный продукт содержит металлические и нерудные компоненты.

Активация минералов способствует повышению поверхностной активности частиц, что повышает прочность изделий и сокращает расход цемента. Активация клинкера позволяет снизить температуру обжига, что снижает расход энергии, продлевает срок службы обжиговых машин, улучшает прочность цементного камня и стойкость к агрессивным воздействиям среды. Материалы после механоактивации без ограничения по санитарным условиям пригодны для производства вяжущих веществ.

Механическая активация минеральных веществ позволяет получить новые материалы с совершенно другими свойствами, полезными при производстве строительных материалов. Так, при измельчении смеси кварца и соединений кальция получается новый минерал – силикальцит, который повышает прочность бетонных изделий за счет образования корки из силиката кальция.

При извлечении металлов из отходов обогащения и металлургии, активированных путем измельчения материала, растворы реагентов способствуют окислению полезных минералов с получением окислов металлов. Так, магнетит, содержащийся в руде цветных металлов, выделяют методом магнитной сепарации. Жидкая часть полученного вещества отделяется путем фильтрования, а из растворенных полисульфидов выделяют соединения серы. Немагнитный шлам используют для получения цветных металлов методами гидрометаллургии.

Активация сульфидных огарков в скоростной мельнице в присутствии водных растворов NaCl или NaOH увеличивает извлечение металлов на 9 %.

При обработке хвостов обогащения свинцово-цинковых руд соляной кислотой повышается концентрация ее в рабочем растворе, что увеличивает извлечение цинка (табл. 1).

Эффективность обработки хвостов повышается при выщелачивании хвостов в сверхкритической барабанной мельнице с отражателем. Результаты активации в течение 10 мин представлены в табл. 2–4.

Таблица 1

Извлечение цинка из хвостов обогащения без активации						
Концентрация соляной кислоты в рабочем растворе, %						
4	6	8	10	12	16	20
Извлечение цинка, %						
17	28	37	61	64	76	82



Таблица 2

Извлечение цинка						
Концентрация соляной кислоты в рабочем растворе, %						
4	6	8	10	12	16	20
Извлечение без активации, %						
8	17	26	30	36	39	42
Извлечение с активацией, %						
32	47	58	71	75	85	89

Таблица 3

Извлечение свинца						
Концентрация соляной кислоты в рабочем растворе, %						
4	6	8	10	12	16	20
Извлечение без активации, %						
20	31	42	47	53	56	60
Извлечение с активацией, %						
28	42	49	53	59	65	70

Таблица 4

Извлечение железа						
Концентрация соляной кислоты в рабочем растворе, %						
4	6	8	10	12	16	20
Извлечение без активации, %						
13	18	24	27	30	33	36
Извлечение с активацией, %						
26	43	53	62	71	76	80

Таблица 5

Партии	Гранулометрический состав активированных хвостов обогащения							
	Выход классов различной крупности, %							
	+1,0	+0,63	+0,4	+0,315	+0,20	+0,10	+0,05	-0,05
1	1,7	4,89	8,86	8,70	16,99	7,88	11,06	39,38
2	1,62	5,07	9,15	8,88	17,10	8,91	11,67	37,60
3	1,45	5,11	9,00	9,20	18,10	9,20	121,00	35,04
4	1,84	4,69	8,80	8,70	17,92	9,02	12,17	36,86
5	2,10	5,20	9,81	9,07	17,70	9,70	11,79	34,63
6	1,15	5,40	10,75	9,12	17,68	9,19	12,43	34,33
7	1,95	4,95	8,99	9,15	17,40	8,52	11,89	37,15
8	1,93	5,15	9,65	8,70	17,70	8,75	11,40	36,72
9	2,07	5,02	9,14	9,25	17,90	8,95	11,68	35,98
10	1,89	5,56	11,02	8,80	18,40	10,05	11,50	32,78
Ср.	1,77	5,09	9,52	8,96	17,68	9,02	11,81	36,16
Σγ, %	1,77	6,86	16,32	25,34	43,02	52,04	63,84	100,0

После активации в барабанной мельнице с отражателем крупность хвостов изменяется незначительно (табл. 5). Выход 40 % класса фракций $-0,050$ мм согласуется со значением удельной поверхности $1480-1640$ см²/г. Прирост содержания мелких классов составил 6,8 % фракций $-0,050$ мм.

Подтверждается, что поверхностная энергия активированных частиц пропорциональна удельной поверхности частиц материала.

Механоактивация хвостов в высокоскоростных механизмах является основой для нетрадиционных схем переработки хвостов и забалансовых руд. Активация отвальных хвостов позволяет на 10–20 % увеличить сквозное извлечение цинка, свинца и железа из отходов, создавая условия для применения в качестве строительных и закладочных материалов (рис. 1).



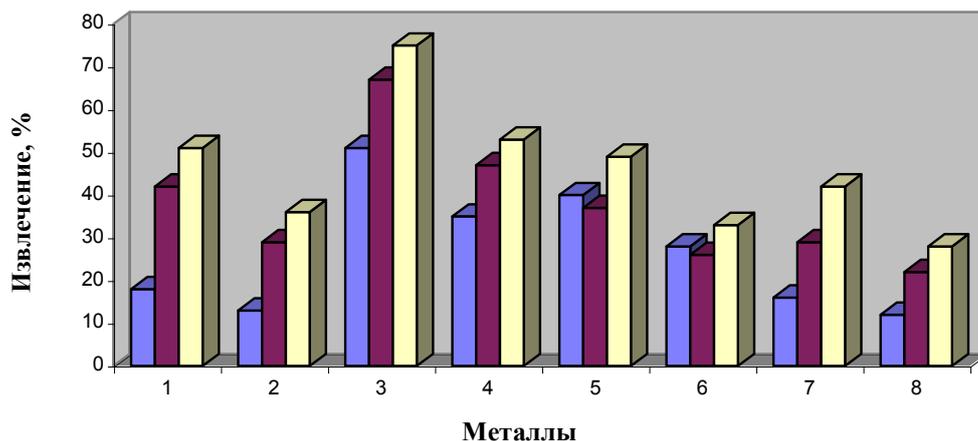


Рис. 1. Извлечение металлов в зависимости от способа активации: 1 – свинец из хвостов обогащения; 2 – свинец из хвостов металлургии; 3 – цинк из хвостов обогащения; 4 – цинк из хвостов металлургии; 5 – медь из хвостов обогащения; 6 – медь из хвостов металлургии; 7 – железо из хвостов обогащения; 8 – железо из хвостов металлургии. Первый столбец – орошение соляной кислотой; второй – анолитом; третий – анолит в дезинтеграторе

Эффект механоактивации хвостов повышается в присутствии раствора соляной кислоты с концентрацией 4–20%. Механоактивация в высокоскоростной барабанной мельнице увеличивает растворимость металлов в составе хвостов обогащения и уменьшает степень загрязнения агрессивными химикалиями окружающей среды (табл. 6).

Побочным эффектом механоактивации является увеличение прочности твердеющих смесей, изготовленных на основе католита маточных растворов (табл. 6) выщелачивания после их электрохимического разложения (рис. 2) [12, 13].

Эффективность технологий с выщелачиванием металлов и нейтрализация опасного для окружающей среды сырья определяется оценкой взаимодействия факторов [6–8]:

- реализация извлеченных из отходов переработки руд металлов;
- замена первичных минеральных ресурсов;
- сокращение затрат на складирование хвостов и содержание хранилищ;
- использование высвобожденных земель;
- предотвращение опасности воздействия на окружающую среду.

Годовая прибыль от переработки хвостов обогащения и металлургии с учетом экологического ущерба может быть определена решением модели:

$$\begin{aligned}
 \Pi_x = & \frac{\sum_{n_o} (C_{T.o} - Z_{o.o} - Z_{M.o}) \cdot Q_o}{t_o} + C_{ш}^o + \\
 & + \frac{\sum_{n_m} (C_{T.M} - Z_{o.M} - Z_{M.M}) \cdot Q_m}{t_m} + C_{ш}^M,
 \end{aligned}$$

где Π_x – годовая прибыль от переработки хвостов, руб/т; $C_{T.o}$ – стоимость реализации продукции переработки хвостов обогащения, руб/т; $Z_{o.o}$ – затраты на обогащение хвостов обогащения, руб/т; $Z_{M.o}$ – затраты на металлургический передел хвостов обогащения, руб/т; n_o – количество извлекаемых компонентов из хвостов обогащения; Q_o – масса хвостов обогащения, т; t_o – время переработки хвостов обогащения, год; $C_{ш}^o$ – штрафы за хранение хвостов обогащения, руб/год; $C_{T.M}$ – стоимость реализации продуктов переработки хвостов металлургии, руб/т; $Z_{o.M}$ – затраты на обогащение хвостов металлургии, руб/т;



Показатели комбинированной активации

Партии	Переведено в раствор								Прочность кубов, МПа		
	Цинк		Свинец		Медь		Железо		Сутки		
	г	%	г	%	г	%	г	%	14	28	90
Обработка соляной кислотой поливом (60 мин)											
1	130	44	27	27	81	36	135	25	1,4	1,64	1,83
2	125	53	19	18	66	39	116	12	1,4	1,84	2,02
3	126	47	23	26	60	42	126	19	1,5	1,78	2,12
4	120	50	25	20	70	40	120	15	1,4	1,7	1,99
5	101	54	24	14	55	38	120	11	1,6	1,98	2,29
6	104	50	31	13	61	45	105	10	1,3	1,8	2,26
Обработка анолитом поливом (60 мин)											
1	155	71	35	46	51	34	72	29	1,0	1,24	1,43
2	149	67	27	45	54	39	73	30	1,1	1,38	1,62
3	165	69	25	47	49	39	70	31	1,2	1,35	1,52
4	160	70	30	45	50	40	70	30	1,1	1,18	1,46
5	159	72	29	43	46	42	63	35	1,1	1,30	1,66
6	171	70	33	44	49	46	69	26	1,2	1,43	1,66
Обработка анолитом в дезинтеграторе (60 мин)											
1	186	79	39	53	66	46	82	43	1,3	1,54	1,73
2	190	76	37	54	64	50	78	45	1,4	1,64	1,82
3	185	81	41	53	65	48	82	42	1,4	1,7	2,12
4	171	83	40	56	70	47	84	39	1,2	1,5	1,8
5	183	86	45	52	60	49	81	41	1,6	1,9	2,2
6	184	80	43	50	64	48	82	42	1,3	1,7	2,16

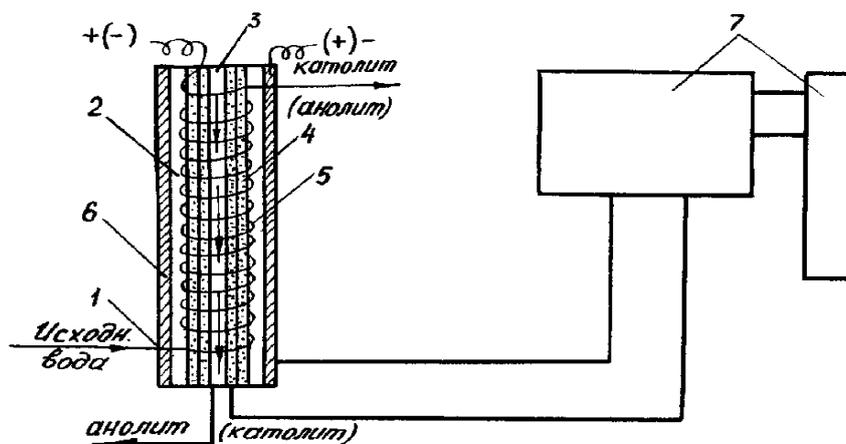


Рис. 2. Схема электрохимической переработки растворов выщелачивания: 1, 2 – катодная и анодная камеры; 3 – диафрагма; 4, 5 – катод и анод; 6 – выпрямитель; 7 – электрооборудование

$Z_{м.м}$ – затраты на металлургию хвостов металлургии, руб/т; n_m – количество извлекаемых компонентов из хвостов металлургии; Q_m – масса хвостов металлургии, т; t_m – время переработки хвостов металлургии, лет; $C_{ш}^м$ – штрафы за хранение хвостов металлургии, руб/год.

Продукты переработки хвостов обогащения полиметаллических руд:
 – промпродукты цинка и свинца с содержанием металлов 3–10 %;
 – концентраты цинка и свинца с содержанием металлов более 20 %;
 – пиритный концентрат с содержанием серы более 30 %;
 – титаномагнетитовый концентрат с содержанием оксидов титана более 30 %;



– железомарганцевый концентрат с содержанием марганца более 20 %;

– кварцевый флюс с содержанием меди от 0,3 до 2,0 %;

– калиброванный кварцевый песок для строительной индустрии, изготовления силикатного кирпича и низкотемпературного каменного литья;

– кварцево-полевошпатный песок для изготовления изделий из стекла пищевого и технического назначения, из художественного стекла и высокопрочных стекол;

– отмытая иловая фракция для изготовления чистящих и полировочных паст бытового и технического назначения, изделий из керамики и для буровых работ.

Энерго- и природосберегающие технологии способствуют решению ряда экономических и социальных проблем добывающих регионов при их вхождении в систему рынка [9–12].

Библиографический список

1. Голик В.И. Комашченко В. И., Дребенштедт К. Mechanochemical Activation of the Ore ind Coal Tailings in the Desintegrators//Mine Planning and Equipment Selection. – Springer International Publishing, Switzerland. – 2014. – P. 56-61.
 2. Franks, DM, Boger, DV, Côte, CM, Mulligan, DR. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes// Resources Policy. – 2011. –Vol. 36. – No. 2. – P. 114-122.
 3. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use//Metallurgical and Mining Industry. – 2015. –

№3. – P. 49-52.
 4. Хинт И.А. УДА- технология: проблемы и перспективы. – Таллин, 1981 г. – 76 с.
 5. Golik V.I., Stradanchenko S.G, Maslennikov S.A. Experimental Study Of Non-Waste Recycling Tailings Ferruginous Quartzite//Research India Publications. – №15 (2015). – P. 35410-35416.
 6. Комашченко В.И., Васильев П.В., Масленников С.А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу// Известия Тульского государственного университета. – Науки о Земле. – 2016. – № 2. – С. 101-114.
 7. Комашченко В.И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. – Науки о Земле. – 2015. – № 4. – С. 23-30.
 8. Bian Zhengfu, Miao Xiexing, Shaogang Lei, Chen Shen-en, Wang Wenfeng, Struthers Sue. The challenges of reusing mining and mineral-processing wastes // Science. – 2012. – Vol. 337. – No. 6095. – P. 702-703.
 9. Packey D. J. Multiproduct mine output and the case of mining waste utilization // Resour. Policy. – 2012. – T. 37. – No. 1. – P 104-108.
 10. Harris J. M., Roach B. Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach. – M. E. Sharpe, Inc., Armonk, New York. – 2013. – P. 246.
 11. Рыльникова М.В. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России//Горный информационно-аналитический бюллетень. – Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2014. – Том 2. – С. 25-32.
 12. Ястребинский М.А. Разработка эколого-экономической классификации техногенных вторичных ресурсов, содержащих цветные, драгоценные металлы и редкоземельные элементы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – №1. – С 78-84.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2016, No. 4, pp. 3--8

Title:	ACTIVATION OF WASTE MINING PRODUCTION IN LEACHING OF METALS
Author 1	Name&Surname: Vladimir I. Golik Company: North Caucasian state technological university Adress: Russia, 62021, Republic of North Ossetia-Alania Vladikavkaz, Nikolaeva str., 44 Scientific Degree: Doctor of Technical Sciences Work Position: Professor of Department Mining Contacts: v.i.golik@mail.ru
DOI:	10.17073/2500-0632-2016-4-3-8
Abstract:	The certificate of activation of minerals in the high speed mechanisms is this. Process of change of an energy condition of minerals in the course of mechanochemical activation in a



	<p>disintegrator is described. Data on efficiency of handling of tails are provided in a supercritical drum mill with a reflector. It is shown that mechanoactivation of tails allows to increase significantly end-to-end extraction of zinc, lead and iron from substandard raw materials, thereby creating conditions for application it as construction materials. The model of an economic evaluation of technology of utilization of tails is offered.</p>
Keywords:	<p>Processing tails, disintegrator, mechanoactivation, metal, extraction, stowage material</p>
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Golik V.I. Komashhenko V. I., Drebenshtedt K. Mechanochemical Activation of the Ore and Coal Tailings in the Desintegrators//Mine Planning and Equipment Selection. – Springer International Publishing, Switzerland. – 2014. – Pp. 56-61. 2. Franks, DM, Boger, DV, Côte, CM, Mulligan, DR. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes// Resources Policy. – 2011. –Vol. 36. – No. 2. – P. 114-122. 3. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use//Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №3. – P. 49-52. 4. Hint I.A. UDA- tehnologija: problemy i perspektivy. [<i>Removal technology: problems and prospects.</i>] – Tallinn, 1981 – 76 p. 5. Golik V.I., Stradanchenko S.G, Maslennikov S.A. Experimental Study Of Non-Waste Recycling Tailings Ferruginous Quartzite//Research India Publications. – №15 (2015). – Pp. 35410-35416. 6. Komashhenko V.I., Vasil'ev P.V., Maslennikov S.A. Tehnologijam podzemnoj razrabotki mestorozhdenij KMA – nadezhnuju syr'evuju osnovu [<i>Technology of underground mining KMA - reliable raw material base</i>] // Proceeding of the TSU. – Earth sciences. – 2016. – No. 2. – Pp. 101-114. 7. Komashhenko V.I. Jekologo-jekonomicheskaja celesoobraznost' utilizacii gornopromyshlennyh othodov s cel'ju ih pererabotki [<i>Ecological and economic feasibility of utilization of mining wastes for recycling</i>] // Proceeding of the TSU. – Науки о Земле. – 2015. – No. 4. – Pp. 23-30. 8. Bian Zhengfu, Miao Xiexing, Shaogang Lei, Chen Shen-en, Wang Wenfeng, Struthers Sue. The challenges of reusing mining and mineral-processing wastes // Science. – 2012. – Vol. 337. – No. 6095. – P. 702-703. 9. Packey D. J. Multiproduct mine output and the case of mining waste utilization // Resour. Policy. – 2012. – T. 37. – No. 1. – P 104-108. 10. Harris J. M., Roach B. Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach. –M. E. Sharpe, Inc., Armonk, New York. – 2013. – P. 246. 11. Rilnikova M.V. Uslovija ustojchivogo funkcionirovanija mineral'no-syr'evogo kompleksa Rossii [<i>Terms of stable functioning mineral feed complex of Russia</i>] // Mining informational and analytical bulletin – Individual articles (special issue). – 2014. – T. 2. – Pp. 25-32. 12. Jastrebinskij M.A. Razrabotka jekologo-jekonomicheskoy klassifikacii tehnogennyh vtorichnyh resursov, soderzhashhih cvetnye, dragocennye metally i redkozemel'nye jelementy [<i>Working out of ekologo-economic classification of the technogenic secondary resources containing color, precious metals and rare-earth elements</i>] // Mining informational and analytical bulletin. – 2013. – No. 1. – Pp. 78-84.

